



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY

A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY A
ELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING

NÁVRH A ZKOUŠENÍ ROZVÁDĚČŮ NN

DESIGNING AND TESTING OF LOW VOLTAGE SWITCHGEARS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. Zdeněk Kovář

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. David Šimek

BRNO 2017

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Síťoproudá elektrotechnika a výkonová elektronika**

Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky

Student: Bc. Zdeněk Kovář

ID: 147634

Ročník: 2

Akademický rok: 2016/17

NÁZEV TÉMATU:

Návrh a zkoušení rozváděčů nn

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Rozeberte problematiku návrhu a zkoušení rozváděčů nízkého napětí.
2. Provedte zkoušku oteplení a analyzujte zdroje tepla konkrétního rozváděče.
3. Vytvořte model předloženého rozváděče ve vhodném programu a proveďte simulaci oteplení.
4. Na základě výsledků simulace a měření navrhnete úpravy rozváděče s ohledem na technické parametry a ekonomická hlediska.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] Technika elektrických přístrojů a rozváděčů: zprávy o vývoji, teorii, stavbě, technologii a zkoušení elektrických přístrojů na vysoké i nízké napětí, měřících transformátorů a rozváděčů. Brno: Elektrotechnické závody Julia Fučíka, 1964-[199-].
- [2] ČSN EN 61439-4 (357107) A Rozváděče nízkého napětí. Část 4, Zvláštní požadavky pro staveništní rozváděče (ACS). Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
- [3] CSIRIK, Vincent. Rozváděče NN: normalizace, výroba, dimenzování a zkoušení : sborník přednášek. 2. upr. vyd. Trutnov: H.V.K.L. Propag Team, 1997.
- [4] HERZIG, Zdeněk. Stanovení oteplení rozváděčů výpočtem. Praha: IN-EL, 1995. Knižnice Elektro.
- [5] LOJKÁSEK, Jan. Rozváděče nn. Praha: IN-EL, 1994. Knižnice Elektro.

Termín zadání: 6. 2. 2017

Termín odevzdání: 24. 5. 2017

Vedoucí práce: Ing. David Šimek

Konzultant:



doc. Ing. Ondřej Víták, Ph.D.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI, díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Abstrakt

Diplomová práce je zaměřena na problematiku oteplení rozváděčů. První část práce se zabývá zpracováním norem týkajících se daného tématu, srovnáním používaných programů pro návrh rozváděčů v praxi a seznámením s pracovním prostředím vybraného softwaru pro tuto práci. Hlavní část práce je zaměřena na měření a simulaci oteplení konkrétního staveništního rozváděče. Měřením bylo provedeno ověření návrhu rozváděče se zřetelem na jednotlivé funkční jednotky samostatně a na kompletní rozváděč z hlediska oteplení. Následně byla provedena simulace oteplení rozváděče. Použitým softwarem pro tuto práci je SolidWorks Flow Simulation kvůli širokému rozsahu funkcí. V závislosti na získaných poznatcích byly navrženy úpravy rozváděče s ohledem na technické parametry a ekonomická hlediska.

Klíčová slova

Rozváděč, měření oteplení rozváděče nn, EPLAN Pro Panel, SolidWorks Flow Simulation, simulace oteplení.

Abstract

The thesis is focused on a temperature-rise of a low-voltage switchgear. The first part of the work deals with a technical standard related to the chosen topic, compares software used for designing switchgear in practice and familiarizes with the working environment of the software selected for this work. The main part of the work is dedicated to a measurement and a simulation of the temperature-rise of the low-voltage switchgear. The measurement involved testing of the switchgear with regard to the individual functional units and to the whole switchgear. Subsequently, the simulation of the temperature-rise of the switchgear followed. Software used in this work is SolidWorks Flow Simulation chosen due to a wide range of functions. According to the findings there were proposed adjustments of the switchgear with respect to the technical parameters and the economic aspect in the last part of the thesis.

Keywords

Switchgear, measurement of the temperature-rise of the low-voltage switchgear, EPLAN Pro Panel, SolidWorks Flow Simulation, simulation of the temperature rise.

Bibliografická citace:

KOVÁŘ, Z. *Návrh a zkoušení rozváděčů nn*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2017. 85 s. Vedoucí diplomové práce Ing. David Šimek.

Prohlášení

„Prohlašuji, že svou závěrečnou práci na téma Návrh a zkoušení rozváděčů nn jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne 15. května 2017

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Davidu Šimkovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce. Dále bych rád poděkoval Ing. Pavlu Dobiášovi a Ing. Lukáši Dostálovi za odbornou pomoc k tématu diplomové práce, panu Ing. Marcelu Jandovi PhD. za hardwarovou a softwarovou podporu a své rodině za podporu během celého studia.

V Brně dne 15. května 2017

.....
podpis autora

Obsah

1 Úvod.....	10
2 Problematika návrhu a zkoušení rozváděčů nízkého napětí	11
2.1 Základní pojmy.....	11
2.2 Základní parametry	12
2.3 Provozní podmínky	14
2.4 Technické požadavky	15
2.5 Ověřování návrhu rozváděčů nn.....	17
2.5.1 Ověřování konstrukce rozváděčů nn	18
2.5.2 Ověřování funkční charakteristiky rozváděčů nn.....	20
2.6 Zkoušení návrhu rozváděčů nn	22
2.6.1 Ověření kompletního rozváděče.....	23
2.6.2 Ověření se zřetelem na jednotlivé funkční jednotky samostatně a na kompletní rozváděč.....	24
2.6.3 Ověření se zřetelem na jednotlivé funkční jednotky a hlavní a distribuční přípojnice samostatně a na kompletní rozváděč.....	24
3 Průzkum používaných softwarů pro návrh rozváděčů v praxi	26
3.1 Výsledky dotazníku	26
4 Porovnání softwarů pro návrh rozváděčů.....	32
4.1 EPLAN Electric P8.....	32
4.1.1 Systémové požadavky [5]	33
4.2 Therm – Rittal.....	34
4.2.1 Systémové požadavky [9]	35
4.3 SolidWorks.....	36
4.3.1 Systémové požadavky [13]	39
4.4 E-Config 3	39
4.4.1 Systémové požadavky [15]	41
4.5 Srovnání softwarů.....	41
5 Ověření oteplení stavebního rozváděče	43
5.1 Zkoušené zařízení	43
5.1.1 Schéma zapojení.....	43
5.2 Provedené zkoušky	45
5.3 Podmínky zkoušky.....	45
5.4 Nastavené parametry	45
5.5 Měřicí přístroje	50
5.6 Výsledky měření.....	50
5.6.1 Výsledky měření kritické varianty funkční jednotky samostatně	51
5.6.2 Výsledky měření soudobosti	54

5.7 Výsledky zkoušky	60
6 simulace oteplení rozváděče	61
6.1 Simulace oteplení v EPLAN Pro Panel.....	61
6.1.1 Tvorba modelu v EPLAN Pro Panel	61
6.1.2 Simulace oteplení modelu v EPLAN Pro Panel.....	62
6.1.3 Simulace oteplení v Rittal Therm	64
6.2 Simulace oteplení v SolidWorks Flow Simulation.....	67
6.2.1 Tvorba modelu v SolidWorks.....	67
6.2.2 Simulace oteplení modelu v SolidWorks Flow Simulation	69
6.2.3 Vyhodnocení výsledků simulace oteplení	73
7 úpravy rozváděče s ohledem na technické parametry a ekonomická hlediska	76
7.1 Úprava rozváděče s ohledem na technické parametry	77
8 Závěr	80
Literatura	82
Seznam symbolů, veličin a zkratk.....	84
Seznam příloh.....	85

Seznam obrázků

Obrázek 1: Schéma zapojení rozváděče	44
Obrázek 2: Zapojení termočlánků.....	47
Obrázek 3: Průběh měření.....	48
Obrázek 4: Zapojení zásuvkových zkratovacích propojek.....	49
Obrázek 5: Skříň rozváděče.....	61
Obrázek 6: Zobrazení celkového ztrátového výkonu	62
Obrázek 7: Hustota ztrátového výkonu nejnepříznivějšího uspořádání přístrojů..	63
Obrázek 8: Změna uspořádání přístrojů v rozváděči	64
Obrázek 9: Zadání rozměrů rozváděče v Rittal Therm.....	65
Obrázek 10: Výpočet teploty uvnitř rozváděče	66
Obrázek 11: Shrnutí Rittal Therm	66
Obrázek 12: Model třífázového jističe.....	67
Obrázek 13: Detailní záběr vodičů	68
Obrázek 14: Model rozváděče v SolidWorks	69
Obrázek 15: Základní struktura projektu	70
Obrázek 16: Zobrazení oteplení přístrojů termokamerou.....	72
Obrázek 17: Výsledky simulace oteplení	74
Obrázek 18: Detailní záběr výsledků simulace oteplení pro jednotlivé přístroje....	75
Obrázek 19: Simulace oteplení jističe LTN-80 B-2 s vodiči o průřezu 25 mm ²	78

Seznam tabulek

Tabulka 1: Výdržné napětí průmyslového kmitočtu pro hlavní obvody rozváděče [1]	16
Tabulka 2: Přehled výhod a nevýhod používaných programů v praxi.....	27
Tabulka 3: Hardwarové požadavky EPLAN Electric P8 [5]	34
Tabulka 4: Doporučené parametry sítě EPLAN Electric P8 [5].....	34
Tabulka 5: Hardwarové a softwarové požadavky programu Therm – Rittal [9]	35
Tabulka 6: Hardwarové a softwarové požadavky SolidWorks [13].....	39
Tabulka 7: Hardwarové a softwarové požadavky E-Config 3 [15]	41
Tabulka 8: Porovnání vybraných softwarů mezi sebou.....	42
Tabulka 9: Okolní podmínky měření.....	45
Tabulka 10: Měřicí přístroje	50
Tabulka 11: Naměřené hodnoty jističe FA6.....	51
Tabulka 12: Naměřené hodnoty jističe FA8.....	52
Tabulka 13: Naměřené hodnoty proudového chrániče FI7-8.....	52
Tabulka 14: Naměřené hodnoty jističe F3.....	53
Tabulka 15: Naměřené hodnoty proudového chrániče FI9-10	53
Tabulka 16: Naměřené hodnoty jističe F4.....	54
Tabulka 17: Naměřené hodnoty proudového chrániče FI11-12	54
Tabulka 18: Naměřené hodnoty jističe FA6 při měření RDF	55
Tabulka 19: Naměřené hodnoty jističe F2 při měření RDF	55
Tabulka 20: Naměřené hodnoty proudového chrániče FI1-6 při měření RDF	56
Tabulka 21: Naměřené hodnoty třífázového jističe FA8 při měření RDF	56
Tabulka 22: Naměřené hodnoty proudového chrániče FI7-8 při měření RDF	57
Tabulka 23: Naměřené hodnoty třífázového jističe F3 při měření RDF	57
Tabulka 24: Naměřené hodnoty proudového chrániče FI9-10 při měření RDF.....	58
Tabulka 25: Naměřené hodnoty třífázového jističe F4 při měření RDF	58
Tabulka 26: Naměřené hodnoty proudového chrániče FI11-12 při měření RDF	59
Tabulka 27: Naměřené hodnoty hand switche při měření RDF.....	59
Tabulka 28: Naměřené hodnoty svorkovnice při měření RDF.....	59
Tabulka 29: Základní nastavení projektu	70
Tabulka 30: Nastavená emisivita	71
Tabulka 31: Nastavení α jednotlivých přístrojů.....	72
Tabulka 32: Přehled cen kabelů dle průřezu.....	76
Tabulka 33: Přehled cen stávajících a navržených svorek.....	77
Tabulka 34: Nastavené hodnoty pro simulaci jističe LTN-80 B-2 OEZ	78
Tabulka 35: Přehled cen stávajících a navržených zařízení	79

Seznam grafů

Graf 1: Četnost používaných programů v praxi.....	29
Graf 2: Prováděné zkoušky.....	30
Graf 3: Export rozváděčů.....	31

1 ÚVOD

Rozváděč patří v elektrotechnice do skupiny nejrozšířenějších zařízení. Jedná se o uskupení spínacích přístrojů spolu s řídícími, signalizačními, měřícími, ochrannými a regulačními zařízeními. Do rozváděče vstupují přívodní napájecí kabely a kabely od různých snímačů, čidel, ovladačů a vystupují kabely vedoucí k dalším podružným rozváděčům, k spotřebičům, zásuvkovým a světelným okruhům.

Podle použití existuje několik typů rozváděčů např. elektroměrové, domovní, bytové, podružné, stavební, pro řízení strojů atd. Nejrozšířenějším typem rozváděčů, se kterými se každodenně setkáváme, jsou bytové nebo domovní rozváděče, popř. rozvodnice.

Diplomová práce se zabývá problematikou konkrétního stavebního rozváděče. Stavební rozváděče bývají často provozovány v těžkých pracovních podmínkách, vlivem kterých může dojít k rychlejší degradaci materiálů a následně k poruše. Z tohoto důvodu jsou na stavební rozváděče kladeny přísné požadavky, které jsou před uvedením do prodeje ověřovány příslušnými zkouškami.

Cílem diplomové práce je ověření oteplení konkrétního stavebního rozváděče. První část práce podává stručný ucelený přehled normy ČSN EN 61439-1 a seznamuje čtenáře s používanými softwary pro návrh rozváděčů nn. Těžištěm první části je zhodnocení vlastností vybraných programů. V druhé části práce je provedeno měření stavebního rozváděče, konkrétně kritické funkční jednotky samostatně a kompletního rozváděče. V další části práce je sestaven model rozváděče v programech EPLAN Pro Panel a SolidWorks. Pro následnou simulaci oteplení se jeví jako vyhovující pouze SolidWorks s nadstavbou Flow Simulation. Poslední část práce navrhuje inovaci rozváděče z hlediska technických parametrů a finančních požadavků.

2 PROBLEMATIKA NÁVRHU A ZKOUŠENÍ ROZVÁDĚČŮ NÍZKÉHO NAPĚTÍ

Celá druhá kapitola vychází z normy ČSN EN 61439-1 a zabývá se problematikou zaměřenou na návrh a zkoušení rozváděčů nn.

2.1 Základní pojmy

V této kapitole budou popsány základní pojmy týkající se rozváděče.

Rozváděč nn

Rozváděč lze definovat jako uskupení a vzájemné elektrické, mechanické propojení spínacích přístrojů, zařízení např. řídicích, signalizačních, regulačních, ochranných.

Systém rozváděče

Veškeré elektrické (funkční jednotky, přípojnice) a mechanické (skříně, lišty, plechy) součásti, které musí být smontovány podle pokynů výrobce, výsledkem je pak rozváděč.

Hlavní obvod

Veškeré obvody zajišťující přenos elektrické energie.

Pomocný obvod rozváděče

Pomocné obvody rozváděče jsou všechny obvody rozváděče mimo obvodu hlavního, sloužící pro ovládání, signalizaci, sběr dat, regulaci.

Přípojnice

Nízko impedanční kabel sloužící k připojení elektrických obvodů.

Hlavní přípojnice

Je přípojnice sloužící k připojení jedné nebo více distribučních přípojníc nebo k připojení jednotek vývodních a přívodních.

Distribuční přípojnice

Z hlavní přípojnice je elektrická energie dodávána do distribuční přípojnice a ta dále napájí vývodní jednotky.

Funkční jednotka

Je část rozváděče podílející se na určité funkci. Pod funkční jednotku patří všechny prvky, jak elektrické, tak mechanické, dokonce i spínané přístroje.

Přívodní jednotka

Hlavní funkcí přívodní jednotky je přívod elektrické energie do rozváděče.

Vývodní jednotka

Vývodní jednotka napájí elektrickou energií jeden nebo několik výstupních obvodů.

Kabelová vývodka

Jsou otvory v rozváděči pro průchod kabelů.

Zařízení jistící před zkratem SCPD

Je takové zařízení, které při výskytu zkratového proudu proud přeruší a tím ochrání obvod nebo část obvodu před poškozením.

Kategorie přepětí (obvodu nebo v rámci elektrické soustavy)

Jedná se o smluvené číslo vzniklé z důvodu omezení předpokládaných přechodných přepětí v obvodu a je závislé na aplikovaných zařízeních pro změnu přepětí.

Svodič přepětí

Ochranné zařízení sloužící k omezení vysokého přechodného přepětí a k omezení amplitudy následného proudu.

Koordinace izolace

Jedná se o interakci izolačních vlastností elektrického zařízení v rozváděči s přepětíovými ochranami a jejich charakteristikami v závislosti na předpokládaném přepětí na straně jedné a s očekávaným mikroprostředím, aplikovanými prostředky potřebné proti znečištění na straně druhé.

Plazivé proudy

Na povrchu pevného izolačního materiálu se mohou vlivem působení elektrického namáhání a elektrolytického narušení vytvářet vodivé cesty.

Odolnost proti plazivým proudům CTI

Maximální velikost napětí, při kterém se na zkoušeném materiálu nevytvoří vodivé cesty, po aplikaci padesáti kapek zkušebního roztoku.

2.2 Základní parametry

V této kapitole budou popsány důležité charakteristické veličiny rozváděčů. Charakteristiky rozváděče musí být kompatibilní s podmínkami instalace a jmenovitými hodnotami připojených obvodů.

Jmenovité napětí (U_n)

Jmenovité napětí rozváděče musí být minimálně rovné jmenovitému napětí elektrické soustavy.

Jmenovité pracovní napětí (U_e)

Jmenovité pracovní napětí jakéhokoliv obvodu rozváděče musí být minimálně rovné jmenovitému napětí elektrické soustavy, ke které má být obvod připojen. Pokud se liší jmenovité pracovní napětí obvodu od jmenovitého napětí rozváděče, musí se určit příslušné jmenovité pracovní napětí obvodu.

Jmenovité izolační napětí (U_i)

Je takové napětí obvodu rozváděče, ke kterému se vztahují povrchové cesty a dielektrická zkušební napětí.

Hodnoty jmenovitého izolačního napětí musí být rovné nebo vyšší jak U_n a U_e stejného obvodu.

Jmenovité impulzní výdržné napětí (U_{imp})

Velikost jmenovitého impulzního výdržného napětí musí být rovno nebo větší jak hodnoty stanovené pro přechodná přepětí nacházející se v elektrické soustavě, do které má být rozváděč připojen.

Jmenovitý proud rozváděče (I_{nA})

Jmenovitý proud rozváděče nesmí způsobit oteplení svých jednotlivých částí přesahující meze a je menší než:

- součet jmenovitých proudů tekoucích přírodnými obvody rozváděče, které pracují paralelně,
- celkový proud, který může být rozváděn hlavní přípojnicí v konkrétním uspořádání.

Jmenovitý proud obvodu (I_{nc})

Je velikost proudu, který může být obvodem rozváděče veden, pouze pokud je obvod zatížen za normálních podmínek. Jmenovitý proud obvodu nesmí překročit meze oteplení v různých částech rozváděče.

Jmenovitý dynamický proud (I_{pk})

Hodnota dynamického proudu musí být minimálně rovna nebo vyšší, jak stanovená předpokládaná vrcholová hodnota zkratového proudu napájecí soustavy, k níž má být obvod připojen.

Jmenovitý krátkodobý výdržný proud (I_{cw})

Jmenovitý krátkodobý výdržný proud obvodu rozváděče musí být rovný nebo vyšší jak velikost efektivní hodnoty předpokládaného zkratového proudu v místě připojení k elektrické energii.

Jmenovitý podmíněný zkratový proud rozváděče (I_{cc})

Jmenovitý podmíněný zkratový proud rozváděče musí být rovný nebo vyšší než efektivní hodnota předpokládaného zkratového proudu po dobu trvání omezenou činností jistícího zařízení před zkratem.

Součinitel soudobosti (RDF)

Jedná se o poměrnou hodnotu jmenovitého proudu udávanou výrobcem rozváděče, kterou mohou být vývodní obvody rozváděče zatěžovány současně a trvale s ohledem na tepelnou interakci.

Součinitel soudobosti se stanovuje pro:

- série obvodů,
- celý rozváděč.

Jmenovitý proud obvodů vynásobený součinitelem soudobosti musí být minimálně rovný nebo vyšší než předpokládané zatížení výstupních obvodů. Velikost předpokládaného zatížení výstupních obvodů musí být zveřejněné v normě pro rozváděč.

Jmenovitý kmitočet (f_n)

Jedná se o kmitočet, ke kterému se vztahují provozní podmínky. Pokud jsou navrženy různé jmenovité kmitočty pro jednotlivé obvody rozváděče, musí být uveden k danému obvodu příslušný jmenovitý kmitočet.

2.3 Provozní podmínky

Rozváděče popsané v normě ČSN EN 61439-1 jsou určeny pro používání v normálních provozních podmínkách. Jednotlivé provozní podmínky jsou popsány v podkapitolách této kapitoly.

Teplota okolního vzduchu

Norma rozlišuje, zda se jedná o teplotu okolního vzduchu pro vnitřní nebo venkovní instalace.

Teplota okolního vzduchu pro vnitřní instalace

Horní mez teploty okolního vzduchu nenabývá hodnotu přesahující +40 °C a zároveň její průměrná hodnota nepřesahuje během 24 hodin +35 °C. Dolní mez teploty okolního vzduchu dosahuje -5 °C.

Teplota okolního vzduchu pro venkovní instalace

Pro teplotu okolního vzduchu u venkovních instalací platí stejné hodnoty jako u instalací vnitřních, kromě dolní meze, která zde dosahuje -25 °C.

Podmínky vlhkosti

V normě jsou popsány podmínky vlhkosti podle toho, jestli jde o vnitřní nebo vnější instalace.

Podmínky vlhkosti pro vnitřní instalace

Při maximální teplotě +40 °C relativní vlhkost nepřesahuje 50 %. Při nižších teplotách může být relativní vlhkost vyšší. V důsledku změn teplot je potřeba si uvědomit možný vznik mírné kondenzace.

Podmínky vlhkosti pro venkovní instalace

Při maximální teplotě 25 °C může relativní vlhkost dosáhnout přechodně až 100 %.

Stupeň znečištění

Důležitým faktorem při problematice návrhu rozváděčů je stupeň znečištění. Stupeň znečištění přímo závisí na podmínkách prostředí, pro které je konkrétní rozváděč určen.

Existují čtyři stupně znečištění v mikroprostředí, kvůli posouzení vzdušných vzdáleností a povrchových cest:

- **Stupeň znečištění 1:** Nevyskytuje se žádné nebo pouze suché a nevodivé znečištění. Znečištění stupně 1 nemá vůbec žádný vliv.
- **Stupeň znečištění 2:** Vyskytuje se pouze nevodivé znečištění, je potřeba brát ohled na dočasnou vodivost způsobenou kondenzací.
- **Stupeň znečištění 3:** Vyskytuje se suché nebo vodivé znečištění. Nevodivé znečištění se může stát znečištěním vodivým vlivem kondenzace.
- **Stupeň znečištění 4:** Způsobená trvalá vodivost vlivem vodivého prachu, deště nebo vlhka. Tento stupeň znečištění podle normy neplatí pro mikroprostředí uvnitř rozváděče.

Rozváděče pro průmyslové aplikace, pokud není dáno jinak, jsou všeobecně určeny pro použití v prostředí se stupněm znečištění 3.

2.4 Technické požadavky

Každý obvod rozváděče musí snést dočasná a přechodná přepětí. Schopnost rozváděče vydržet jednotlivá přepětí bez poškození pevné izolace se ověřuje prostřednictvím zkoušek. Neporušenost pevné izolace v závislosti působení dočasného přepětí se ověřuje výdržným napětím průmyslového kmitočtu.

Neporušenost izolace vlivem přechodného přepětí se ověřuje impulzním výdržným napětím.

Výdržné napětí průmyslového kmitočtu

Obvody rozváděče musí být schopné snést výdržná průmyslová napětí průmyslového kmitočtu uvedená v tabulce 1. Hodnota jmenovitého izolačního napětí jakéhokoliv obvodu rozváděče musí být rovna nebo vyšší než jeho maximální pracovní napětí.

Tabulka 1: Výdržné napětí průmyslového kmitočtu pro hlavní obvody rozváděče [1]

Izolační jmenovité napětí U_i (sdružené AC nebo DC)	Střídavé dielektrické zkušební napětí (efektivní hodnota)	Stejnoseměrné dielektrické zkušební napětí ^a
[V]	[V]	[V]
$U_i \leq 60$	1000	1415
$60 < U_i \leq 300$	1500	2120
$300 < U_i \leq 690$	1890	2670
$690 < U_i \leq 800$	2000	2830
$800 < U_i \leq 1000$	2200	3110
^a Zkušební napětí		

Impulzní výdržná napětí hlavních obvodů

Vzdušné vzdálenosti mezi živými částmi s různým potenciálem a vzdušné vzdálenosti mezi živými a neživými částmi musí snést zkušební napětí náležející ke jmenovitému impulznímu výdržnému napětí.

Jmenovité impulzní výdržné napětí náležející danému jmenovitému pracovnímu napětí nesmí být menší než jmenovité napětí napájecí soustavy obvodu v úseku, kde má rozváděč plnit svou funkci.

Ochrana svodičů přepětí

Pokud jsou k hlavnímu obvodu připojeny svodiče přepětí (SPD), musí být chráněny, aby nedošlo k neřízeným podmínkám zkratu uvedeným výrobcem SPD.

Meze oteplení

Jmenovité proudy musí být vedeny rozváděčem a jeho obvody za daných předepsaných podmínek s ohledem na součásti rozváděče, jejich uspořádání, jmenovité hodnoty, aby nedošlo k překročení mezních hodnot oteplení.

Oteplení prvku nebo části rozváděče je definováno jako rozdíl teploty mezi sledovaným prvkem nebo částí a teplotou vzduchu vně rozváděče. Pokud nastane mimořádná situace, že střední hodnota okolního vzduchu přesahuje teplotu 35 °C, musí zůstat součet teploty okolí a dílčích mezí oteplení stejný.

V důsledku oteplení nesmí za žádné situace dojít k poškození proudovodných částí nebo přilehlých částí rozváděče. U izolačních materiálů výrobce dokazuje např. teplotním indexem, že nedojde k porušení vlivem oteplení.

Zkratová ochrana a zkratová odolnost

Rozváděče musí vydržet dynamické, tepelné namáhání zkratovými proudy nepřevyšující jmenovité hodnoty.

Použitím vhodných zařízení omezující proud např. pojistky, indukční cívky, mohou být sníženy zkratové namáhání rozváděče. Je důležité zmínit, že proti zkratovým proudům musí být rozváděče chráněny jističi, pojistkami nebo jejich kombinací.

Informace ohledně zkratové odolnosti

Jistící zařízení rozváděčů před zkratem, která jsou vestavěna do přívodní jednotky, musí mít uvedenou maximální dovolenou velikost předpokládaného zkratového proudu na vstupních svorkách rozváděče. Tuto důležitou informaci musí uvádět výrobce rozváděče a zároveň hodnota předpokládaného zkratového proudu na vstupních svorkách nesmí přesáhnout dané jmenovité hodnoty.

Pokud je v rozváděči použit jistič se zpožděnou spouští, musí výrobce rozváděče určit maximální dobu zpoždění a proudové nastavení náležející předpokládané velikosti zkratového proudu. Výrobce rozváděče musí také uvést u zařízení jistící před zkratem jistící charakteristiky.

U rozváděčů s více přívodními jednotkami, které nebudou v provozu současně, může být pro každou přívodní jednotku dána zkratová odolnost samostatně.

Je-li rozváděč s více přívodními jednotkami, které budou s největší pravděpodobností pracovat současně a je-li rozváděč s pouze jednou přívodní jednotkou a jednou nebo několika jednotkami vývodními s vysokým výkonem, jenž s největší pravděpodobností budou přiživovat zkratový proud, je potřeba stanovit velikost předpokládaného zkratového proudu v každé přívodní a vývodní jednotce, v přípojnících.

2.5 Ověřování návrhu rozváděčů nn

Ověřování návrhu slouží ke kontrole, zda byl samotný rozváděč nebo jeho systém navržen podle odpovídajících kritérií daných souborem norem. Norma popsaná v této kapitole neslouží pouze k ověření správného návrhu, ale také ke kontrole případné změny funkčních charakteristik ověřeného rozváděče, který byl pozměněn.

Různé metody ověřování obsahují:

- zkoušení,

- ověřování srovnáním se zkoušeným návrhem,
- výsledek ověřování.

Zkoušky se musí provádět na vybraném vzorku čistého a nového rozváděče. Je důležité si uvědomit, že ověřovací zkoušky mohou působit na funkční charakteristiky rozváděče, proto se nesmí tyto zkoušky konat na rozváděči, který má jít do provozu.

Ověřování návrhu obsahuje ověřování konstrukcí a funkčních charakteristik.

2.5.1 Ověřování konstrukce rozváděčů nn

V této kapitole jsou popsány vybrané ověření spadající do konstrukce.

2.5.1.1 Pevnost materiálů a částí

Ověřením konstrukčních a funkčních charakteristik se prokazuje způsobilost materiálů a částí rozváděče.

Odolnost proti korozi

Odolnost proti korozi se provádí u rozváděčů sestavených z kovových skříní nebo také nachází-li se na vnějších, vnitřních částí konstrukce rozváděče železné části.

Proti korozi musí být zkoušeny také veškeré zámky, závěsy, upevňovací prvky a musí se hlídat, jestli vlivem používání nedojde ke snížení jejich odolnosti.

Jestliže skříň podrobujeme zkoušce, musí být instalována stejně jako pro běžné použití. Zkušební vzorky se podrobují zkoušce náročnosti A, nebo B a musí být nové i čisté.

Zkouška náročnosti A

Zkouška náročnosti A se skládá z 6 cyklických zkoušek vlhkým teplem s dobou trvání jednoho cyklu 24 hodin a 2 cyklů zkoušek solnou mlhou se stejnou dobou trvání jednoho cyklu.

Zkouška náročnosti A se dělá pro:

- interní kovové skříň,
- externí kovové části vnitřních rozváděčů,
- kovové vnitřní části interních a externích rozváděčů, na kterých může být závislá mechanická činnost.

Zkouška náročnosti B

Zkouška náročnosti B se provádí ve dvou stejných dvanáctidenních obdobích, kde každé období zahrnuje 5 cyklů s dobou trvání jednoho cyklu 24 hodin pro zkoušku vlhkým teplem. Zkouška solnou mlhou zahrnuje 7 cyklů, kde každý cyklus trvá 24 hodin.

Zkouška náročnosti B se provádí pro:

- vnější skříň z kovu,
- vnější kovové součásti externích rozváděčů.

Výsledky zkoušek, kterých má být dosaženo:

Po dokončení zkoušky proti korozi je potřeba zkoušenou kovovou skříň nebo vzorky omýt pod čistou tekoucí vodou z vodovodu po dobu pěti minut. Následně probíhá oplachování ve vodě demineralizované nebo destilované. V dalším kroku dochází k setřepávání kapek vody z povrchu zkoušeného objektu a objekt se uloží do normálních provozních podmínek po dobu dvou hodin.

Vizuální prohlídkou se kontroluje, aby se určilo, že:

- na povrchu zkoušeného objektu se nevyskytuje ani náznak oxidu železitého. Nejsou přítomné trhliny, ani jiné další degradace v takové míře, kterou nepovoluje norma pro stupeň rezavění Ri1. Avšak vznik degradace na povrchu ochranného povlaku je povolen,
- mechanická celistvost není nějak narušena,
- nevznikla škoda na těsnění,
- závěsy, zámky, dveře a další upevňovací prvky plní svou funkci a lze s nimi manipulovat bez nadměrného úsilí.

Ověřování tepelné stability skříní

Tepelná stabilita skříní zhotovených z izolačních materiálů se musí testovat zkouškou suchým teplem. Předměty se zkouškou neověřují, pokud plní pouze dekorativní funkci. Skříň je při zkoušce sestavena do provozní podoby a vkládá se do ohřívací komory, kde se nachází atmosféra vzduchu se stejným složením, tlakem jako má okolní vzduch a je větrána přirozenou cirkulací. Nastane-li případ, že rozměry zkoušené atypické skříně jsou natolik velké, že se nevejdou do ohřívací komory, je možné podrobit zkoušce typický vzorek skříně. Po ukončení zkoušky nesmí být na povrchu materiálu viditelná žádná trhlina a materiál se nesmí začít lepit nebo zamastit.

2.5.1.2 Stupeň ochrany rozváděčů

Stupeň ochrany rozváděčů se provádí zkouškou podle podmínek uvedených výrobcem, která může být provedena na jednom typickém rozváděči. Pokud je provedena úprava na prázdné skříni, musí se tato úprava ověřováním vyhodnotit, aby bylo zjištěno, zda nedojde ke snížení stupně ochrany.

Zkoušky IP se musí provádět:

- se všemi namontovanými, uspořádanými kryty, dveřmi na svých pozicích, jako za normálního provozu,
- pokud výrobce neurčí jinak, ve stavu bez proudu.

2.5.2 Ověřování funkční charakteristiky rozváděčů nn

V této kapitole budou popsány vybrané ověření funkční charakteristiky.

2.5.2.1 Dielektrické vlastnosti

Pro zkoušku dielektrických vlastností musí být všechna elektrická zařízení rozváděče připojena, kromě těch přístrojů, která jsou podle své funkčnosti navržena pro nižší napětí. Zařízení, u kterých by přiložené napětí způsobilo naindukování proudu (vinutí měřících zařízení) musí být také odpojeny. Většinou mají odpojenou jednu svorku a druhou svorkou jsou připojeni. Pokud toto zařízení není uzpůsobeno vydržet velikost zkušebního napětí, musí mít všechny svorky vypojeny.

Zkušební napětí

Zkušební napětí má podle normy definovaný tvar a frekvenci. Musí mít sinusový průběh a frekvenci ideálně 50 Hz s tolerancí od 45 Hz do 65 Hz.

Pro zkoušku je většinou použit vysokonapěťový transformátor, musí se nastavit výstupní zkušební napětí a velikost výstupního proudu musí mít velikost 200 mA, jestliže jsou výstupní svorky spojeny nakrátko. Nadproudové relé nesmí zapůsobit, pokud výstupní proud dosahuje hodnoty nižší než 100 mA. Velikost zkušebního napětí musí odpovídat hodnotám uvedených v normě s tolerancí $\pm 3 \%$.

Přiložení zkušebního napětí

Napětí průmyslového kmitočtu v době přiložení nesmí přesáhnout 50 % z maximální zkušební hodnoty. Následně se při zkoušce zkušební napětí zvyšuje na maximální (plnou) hodnotu a udržuje se po dobu 5 s (+2 s) takto:

- mezi veškerými propojenými živými částmi hlavního obvodu a částmi neživými, s hlavními kontakty všech zapnutých spínacích přístrojů nebo přístrojů přemostěnými spojkou s malým odporem,
- mezi každou živou částí hlavního obvodu s jiným potencionálem a dalšími živými částmi jiného potencionálu, s neživými částmi navzájem propojenými a s hlavními kontakty zapnutých spínacích přístrojů, případně spínacích přístrojů přemostěnými spojkou s malým odporem,
- mezi obvody řídicí a pomocné, které nejsou za normálních podmínek propojeny s hlavním obvodem.

Zkouška impulzním výdržným napětím

Zkouška impulzního výdržného napětí se provádí prostřednictvím generátoru napěťových rázů. Zdroj napěťových rázů musí generovat žádanou velikost impulsního napětí se zapojeným rozváděčem. Tolerance odchylky přiloženého maximálního napětí musí být $\pm 3 \%$. Pomocné obvody, které nejsou propojené s hlavními obvody, musí být během zkoušky spojeny se zemí. Při zkoušce je

rozdávěči přiloženo pro kladnou i zápornou polaritu impulsní napětí 1,2/50 μ s. Celkem podstupuje rozváděč přiloženému zkušebnímu napětí pro každou polaritu pětkrát v intervalech minimálně 1.

2.5.2.2 Ověřování oteplení

U ověřování oteplení se testují meze oteplení pro jednotlivé části rozváděče, zda nedojde k jejich překročení.

Ověřování oteplení se provádí jednou nebo více metody, které jsou uvedeny na začátku kapitoly 2.5.

Ověřování zkouškou obsahuje

Pokud existuje více variant systémů rozváděče, musí se ověřovat jeho nejnejpříznivější uspořádání.

Zkouška musí být provedena minimálně na jednom typickém uspořádání rozváděče, který bude zatížen jednou nebo kombinací zátěží, tak aby vzniklo maximální možné oteplení. Volbu uspořádání systému rozváděče udává výrobce.

Funkční jednotky

Funkční jednotka je souhrn všech elektrických, mechanických a spínacích zařízení, které se podílejí na konání stejné funkce. Funkční jednotku tvoří vodiče připojené k této jednotce, jsou-li uloženy mimo prostor jednotky nebo uzavřeného chráněného prostoru.

- **Volba srovnatelných skupin funkčních jednotek**

Funkční jednotky zatěžované rozdílným jmenovitým proudem, lze chápat za jednotky srovnatelné s podobným tepelným chováním za předpokladu:

- funkčnost a schéma zapojení hlavního obvodu jsou shodné,
- vnější velikosti přístrojů jsou stejné a patří do stejné kategorie,
- montážní struktura je stejného druhu,
- vzájemné uspořádání přístrojů je shodné,
- typ a uspořádání vodičů jsou totožné,
- velikost průřezu vodičů hlavního obvodu ve funkční jednotce musí mít minimálně jmenovitou hodnotu odpovídající velikosti nejmenšího průřezu přístroje v obvodu. Výběr typu kabelů a přípojníc je určen zkouškami.

- **Volba kritické varianty funkčních jednotek jako vzorku pro zkoušku z každé srovnatelné skupiny**

Pro kritickou variantu funkčních jednotek jsou podrobeny zkoušce nejnejpříznivější podmínky prostoru a skříně. Určuje se maximální jmenovitý proud pro každou variantu funkční jednotky. Velikost jmenovitého proudu u funkčních jednotek pouze s jedním přístrojem je rovna jmenovitému proudu tohoto přístroje. Pokud funkční jednotka

obsahuje dva nebo více přístrojů, velikost jmenovitého proudu odpovídá velikosti proudu přístroje s nejnižším jmenovitým proudem. Jestliže se použije při nižším proudu zapojení přístrojů do série ve funkční jednotce, musí se použít proud přístroje s nejnižší jmenovitou hodnotou.

U každé funkční jednotky se počítají výkonové ztráty zvlášť. Výkonové ztráty se stanoví z maximálního možného proudu funkční jednotky a výkonových ztrát přidružených vodičů.

Kritická jednotka pro funkční jednotky s proudy do 630 A včetně, je jednotka s největšími celkovými výkonovými ztrátami.

Kritická jednotka pro jednotky funkční s proudy nad 630 A je jednotka s největší hodnotou jmenovitého proudu.

Kritická funkční jednotka musí být zkoušena:

- uvnitř určeného nejmenšího prostoru pro danou jednotku,
- s nejnepříznivější variantou vnitřního oddělení s ohledem na velikost ventilačních otvorů,
- se skříní s největší možnou ztrátou instalovaného výkonu na objem,
- s nejnepříznivější variantou ventilace s ohledem na její funkční princip (zda se jedná o přirozené nebo nucené proudění vzduchu) a velikost ventilačních otvorů.

2.6 Zkoušení návrhu rozváděčů nn

Norma se zabývá třemi metodami zkoušek, které se od sebe liší počtem potřebných testování a rozsahem využitelnosti výsledků ze zkoušky.

Metody zkoušek:

- ověřování kompletního rozváděče,
- ověřování s ohledem na jednotlivé funkční jednotky samostatně a na kompletní rozváděč,
- ověřování se zřetelem na jednotlivé funkční jednotky a hlavní a distribuční přípojnice samostatně a na kompletní rozváděč.

Zkouška oteplení v obvodech se provádí proudem, který je pro daný obvod určen, s ohledem na konstrukční frekvenci. Ke generování požadovaného proudu při zkoušce může být použita různá hodnota zkušební napětí, ale cívky přístrojů, jako např. stykačů, relé, spouští atd., musí mít přivedené napětí pracovní.

Rozváděč při zkoušce musí být zkonstruován se všemi kryty, včetně spodních krycích panelů, jako při běžném používání. Pokud jsou v rozváděči obsaženy pojistky, musí mít kvůli zkoušce tavné vložky. Výkonové ztráty tavných vložek musí být zaznamenány ve zkušebním protokolu a jejich hodnota ztrát se dá zjistit buď měřením, nebo informacemi od výrobce. Do zkušební protokolu se také uvádí velikost a uspořádání vnějších vodičů podílejících se na zkoušce. Je důležité, aby zkouška byla prováděna po dostatečně dlouhou dobu, kvůli dosažení ustálené

hodnoty oteplení, kterého se dosáhne, pokud nenastane změna hodnoty na všech měřených místech přesahující 1 K/h, dokonce se tento údaj týká i teploty okolního vzduchu.

Tolerance průměrných hodnot zkušebních vstupních proudů se nachází v rozmezí – 0 % do +3 % žádané hodnoty. Každá fáze musí být zatížena v rozmezí ± 5 % žádané hodnoty.

Zkoušky v jednotlivých polích rozváděče se musí provádět tak, aby nedocházelo k úniku tepla přes vnější povrchy sloužící k připojení přídatných polí. K tomu se nejčastěji používá tepelně izolovaný kryt.

Při zkoušení funkčních jednotek v daném poli nebo v kompletním rozváděči je možné nahradit sousední funkční jednotky topnými rezistory, ale pouze za předpokladu, pokud proud každé jednotky nepřesahuje hodnotu 630 A, a zároveň jejich proudy nebudou podrobeny zkoušce. U rozváděčů, které mohou být doplněny přídatnými řídicími obvody nebo přístroji, topné rezistory charakterizují ztrátový výkon těchto přídatných zařízení.

Měření teplot

Pro měření teploty se používají teploměry a termočlánky. Samotné měřicí přístroje musí být chráněny před tepelným vyzařováním a prouděním vzduchu. Teplota se proměřuje ve všech problémových místech, kde je možné překročení meze oteplení např. spoje ve vodičích, svorky v hlavních obvodech. K proměření teploty uvnitř rozváděče je potřeba vhodně rozmístit čidla k měření teploty.

Teplota okolního vzduchu

Teplota okolního vzduchu kolem rozváděče musí být měřena nejméně dvěma teploměry nebo termočlánky. Měřicí zařízení musí být rozloženo kolem rozváděče podle daných pravidel, tzn. rovnoměrně a zhruba v polovině jeho výšky ve vzdálenosti 1 m. Jak už bylo zmíněno, zařízení na měření teploty by měla být chráněna před prouděním vzduchu a vyzařováním tepla. Teplota okolo rozváděče by se měla pohybovat v rozmezí od +10 °C do +40°C.

2.6.1 Ověření kompletního rozváděče

Přívodní a výstupní obvody rozváděče musí být zatíženy pouze vlastními jmenovitými proudy, které jsou rovny součiniteli soudobosti rovnému 1.

Pokud je velikost zatížení přívodního obvodu nebo systému distribučních přípojníc (DBS) menší než součet jmenovitých hodnot proudů výstupních obvodů, musí se výstupní obvody rozdělit do několika skupin tak, aby bylo zajištěno, že jednotlivě vytvořené skupiny budou odpovídat jmenovitému proudu přívodního obvodu nebo DBS. Způsob utváření skupin má za cíl dosáhnout co největšího

oteplení. Skupin by mělo být vytvořeno několik, aby při zkoušce byly obsaženy nejméně v jedné skupině všechny varianty funkčních jednotek.

Pokud celkový přívodní proud nelze přesně rozdělit maximálně zatíženými přívodními obvody, musí zbývající proud téci přes jiný vhodný obvod. Zkoušku je potřeba několikrát opakovat, dokud nejsou známy všechny výstupní obvody, při jejich jmenovitém proudu.

Jestliže dojde z nějakého důvodu k přeskládání funkčních jednotek na ověřeném rozváděči nebo poli, můžou být potřeba doplňující zkoušky, protože dojde ke změně tepelného působení sousedících jednotek.

2.6.2 Ověření se zřetelem na jednotlivé funkční jednotky samostatně a na kompletní rozváděč

V rozváděči je na jmenovitý proud ověřován přívodní obvod a funkční vývodní jednotky, které jsou brány jako celek a jmenovitý proud těchto jednotek je násoben součinitelem soudobosti.

Pokud je jmenovitý proud přívodního obvodu nebo DBS menší než součet zkušebních hodnot proudů výstupních obvodů (jmenovitých proudů násobených součinitelem soudobosti) platí to stejné co v kapitole 2.6.1

2.6.3 Ověření se zřetelem na jednotlivé funkční jednotky a hlavní a distribuční přípojnice samostatně a na kompletní rozváděč

Rozváděče musí být ověřovány testováním samotných standartních prvků (tomu odpovídají odstavce a) až c)) a testováním kompletního rozváděče při možných nejnejpříznivějších podmínkách (odstavec d)).

- a) Hlavní přípojnice se zkouší samostatně každá zvlášť, musí být namontovány v místě obvyklého používání s veškerými kryty a mezistěnami sloužící pro oddělení přípojníc od dalších prostorů. Zkouška se provádí zkušebním proudem mající hodnotu jmenovitého proudu a musí téct celou délkou přípojníc. Do zkoušky musí být také zahrnuty spoje přípojníc. Pro zkoušku je nutné, aby přípojnice měla minimální délku 2 metry a zahrnovala minimálně jeden spoj, kvůli omezení působnosti zkušebních vodičů na oteplení.
- b) Distribuční přípojnice se musí zkoušet samostatně, bez vývodních jednotek. Musí být namontovány v místě obvyklého používání s veškerými kryty a mezistěnami sloužící pro oddělení přípojníc od dalších prostorů. Distribuční přípojnice musí být napojena na hlavní přípojnici a zároveň k ní nesmí být připojeny žádné vodiče, jako např. spoje k funkčním jednotkám. Zkouška se realizuje při jmenovitém proudu a zkušební proud musí téct přes celou délku přípojnice. Pokud je hlavní přípojnice dimenzována na vyšší

proud než distribuční, je potřeba zajistit její jmenovité zatížení přídavným proudem, tak bude docíleno, že jmenovitý proud hlavní přípojnice bude téct do spoje s přípojnici distribuční.

- c) Zkouška funkčních jednotek probíhá pro každou zvlášť, musí být namontována v místě obvyklého používání s veškerými kryty a mezistěnami. Pokud je možné funkční jednotku umístit na více místech v rozváděči, použije se pro zkoušku místo s nejnepříznivějšími podmínky. Funkční jednotka je během zkoušky připojena na distribuční nebo hlavní přípojnici, pokud je hlavní nebo distribuční přípojnice dimenzována na vyšší proud než jednotka, je potřeba zajistit její jmenovité zatížení přídavným proudem, tak bude docíleno, že jmenovitý proud hlavní nebo distribuční přípojnice bude téct do spoje s funkční jednotkou. Celá zkouška se provádí jmenovitým proudem funkční jednotky.
- d) Zkouška oteplení pro kompletní rozváděč se provádí při nejnepříznivějším možným uspořádání systému udávaným výrobcem. Při tomto typu zkoušky musí protékat vlastní jmenovitý proud přívodním obvodem a vývodními funkčními jednotkami. Celkové zatížení jednotek je dáno jejich jmenovitým proudem násobeným součinitelem soudobosti. Pokud je velikost zatížení přívodního obvodu nebo systému distribučních přípojníc (DBS) menší než součet jmenovitých hodnot proudů výstupních obvodů, musí se výstupní obvody rozdělit do několika skupin tak, aby bylo zajištěno, že jednotlivě vytvořené skupiny budou odpovídat jmenovitému proudu přívodního obvodu nebo DBS. Způsob utváření skupin má za cíl dosáhnout co největšího oteplení. Skupin by mělo být vytvořeno několik, aby při zkoušce byly obsaženy nejméně v jedné skupině všechny varianty funkčních jednotek.

3 PRŮZKUM POUŽÍVANÝCH SOFTWAREŮ PRO NÁVRH ROZVÁDĚČŮ V PRAXI

Celá třetí kapitola je věnována průzkumu používaných programů a zkoušek rozváděčů v praxi. Vstupní data pro zpracování byla pořízena formou dotazníku. Dotazníkem bylo osloveno od 29. 10. do 27. 11. 2016 celkem 34 firem, z toho 14 odpovědělo. Nejvíce firem odpovědělo první týden po oslovení a to 65 %, zbylých 35 % odpovědělo do třech týdnů. V další části této kapitoly jsou popsány výsledky dotazníku jednotlivých firem, jejichž názvy nejsou z důvodu ochrany osobních údajů zveřejněny.

3.1 Výsledky dotazníku

Na základě šetření bylo zjištěno, že pouze jedna firma navrhuje rozváděče externě, zbylých 13 firem navrhuje interně.

Nejvíce rozšířeným programem při návrhu rozváděčů je AutoCAD, kvůli jeho univerzálnosti, jednoduchosti a dobré kompatibilitě s ostatními programy. Druhým nejčastěji používaným programem je EPLAN Electric P8, kvůli nastavitelnému přehlednému pracovnímu prostředí a databázi, kterou AutoCAD nemá. Četnost používaných programů v praxi demonstruje graf 1.

Někteří respondenti uváděli stejné výhody a nevýhody u více programů, proto jsou tyto programy uvedeny v tabulce 2 ve stejné kolonce. Mnoho firem často hodnotilo programy s neuvedením výhod nebo nevýhod. Může to být způsobeno tím, že dotazovaný neměl zkušenosti s dalšími programy, a proto nemohl porovnávat.

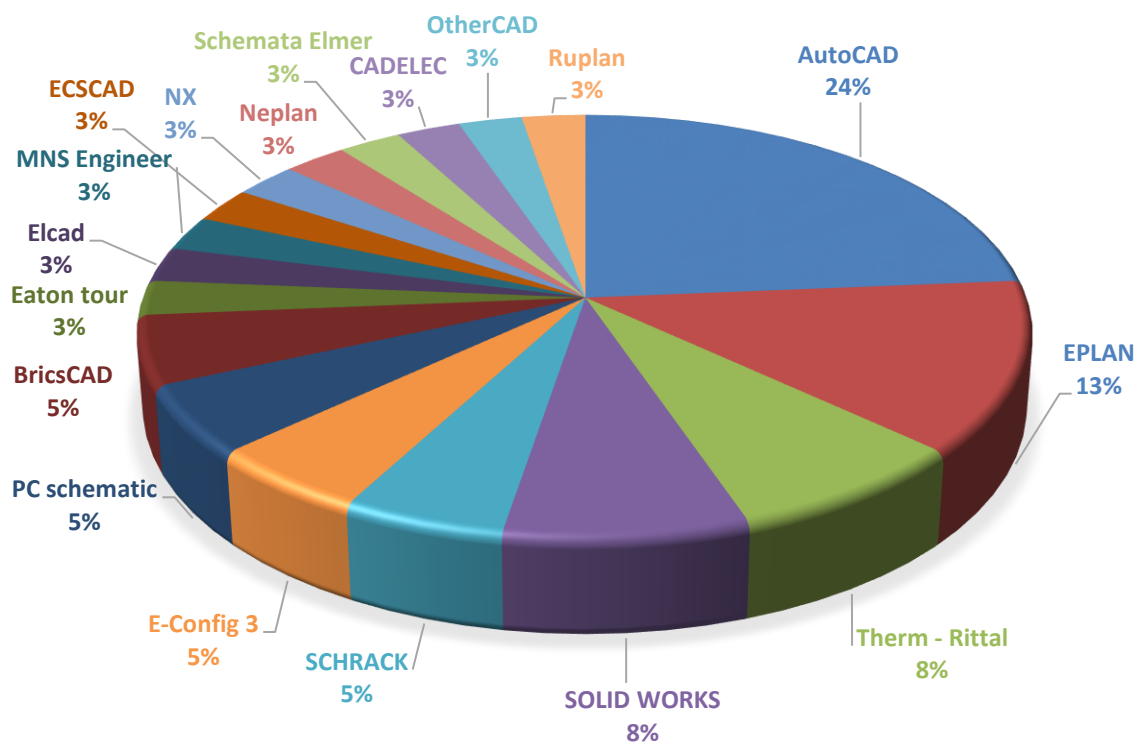
Tabulka 2: Přehled výhod a nevýhod používaných programů v praxi

Název programu	Výhody	Nevýhody
AutoCAD	Univerzálnost, jednoduchost, kompatibilita s ostatními programy, stabilita, nastavitelné pracovní prostředí, cena	Absence databáze, knihoven.
EPLAN Electric P8, MNS Engineer	Nastavitelné pracovní prostředí, plynulost (velmi krátká časová odezva na provedený úkon), přehledné pracovní prostředí, intuitivní, jednoduchost, stabilní	Žádné
SCHRACK, E-Config 3 (nebo jiná verze)	Nastavitelné pracovní prostředí, plynulost (velmi krátká časová odezva na provedený úkon), přehledné pracovní prostředí, intuitivní, jednoduchost, stabilní	Špatná kompatibilita s ostatními programy
Rittal-Therm	Jednoduchost, přehledné pracovní prostředí, intuitivní, nastavitelné pracovní prostředí, plynulost (velmi krátká časová odezva na provedený úkon)	Nepřehledné pracovní prostředí, pomalá odezva
SOLID WORKS (základní verze)	Intuitivní	Nepřehledné pracovní prostředí, pomalá odezva
PC Schematic	Jednoduchost, intuitivní, výborná kompatibilita s ostatními programy, možnost využití databázového systému	Málo aktuálních knihoven, neochota výrobců zpracovávat knihovny do tohoto programu
BricsCAD, Eaton tour 2014 (nebo jiná verze)	Jednoduchost, přehledně zpracované pracovní prostředí	Žádné

Elcad	Intuitivní, jednoduchost, nepadá	Žádné
ECSCAD	Jednoduchost	Špatná kompatibilita s ostatními programy
NX	Jednoduchost, přehledné pracovní prostředí, intuitivní, plynulost (velmi krátká časová odezva na provedený úkon), stabilní	Žádné
Neplan	Intuitivní, jednoduchost, nastavitelné pracovní prostředí, plynulost (velmi krátká časová odezva na provedený úkon), přehledné pracovní prostředí	Žádné
Schemata Elmer	Jednoduchost, nastavitelné pracovní prostředí, plynulost (velmi krátká časová odezva na provedený úkon), přehledné pracovní prostředí, stabilní (nepadá)	Žádné
CADELEC, OtherCAD	Žádné	Žádné
Ruplan	Intuitivní	Nepřehledné pracovní prostředí, pomalá odezva systému

Graf 1: Četnost používaných programů v praxi

ČETNOST POUŽÍVÁNÝCH PROGRAMŮ

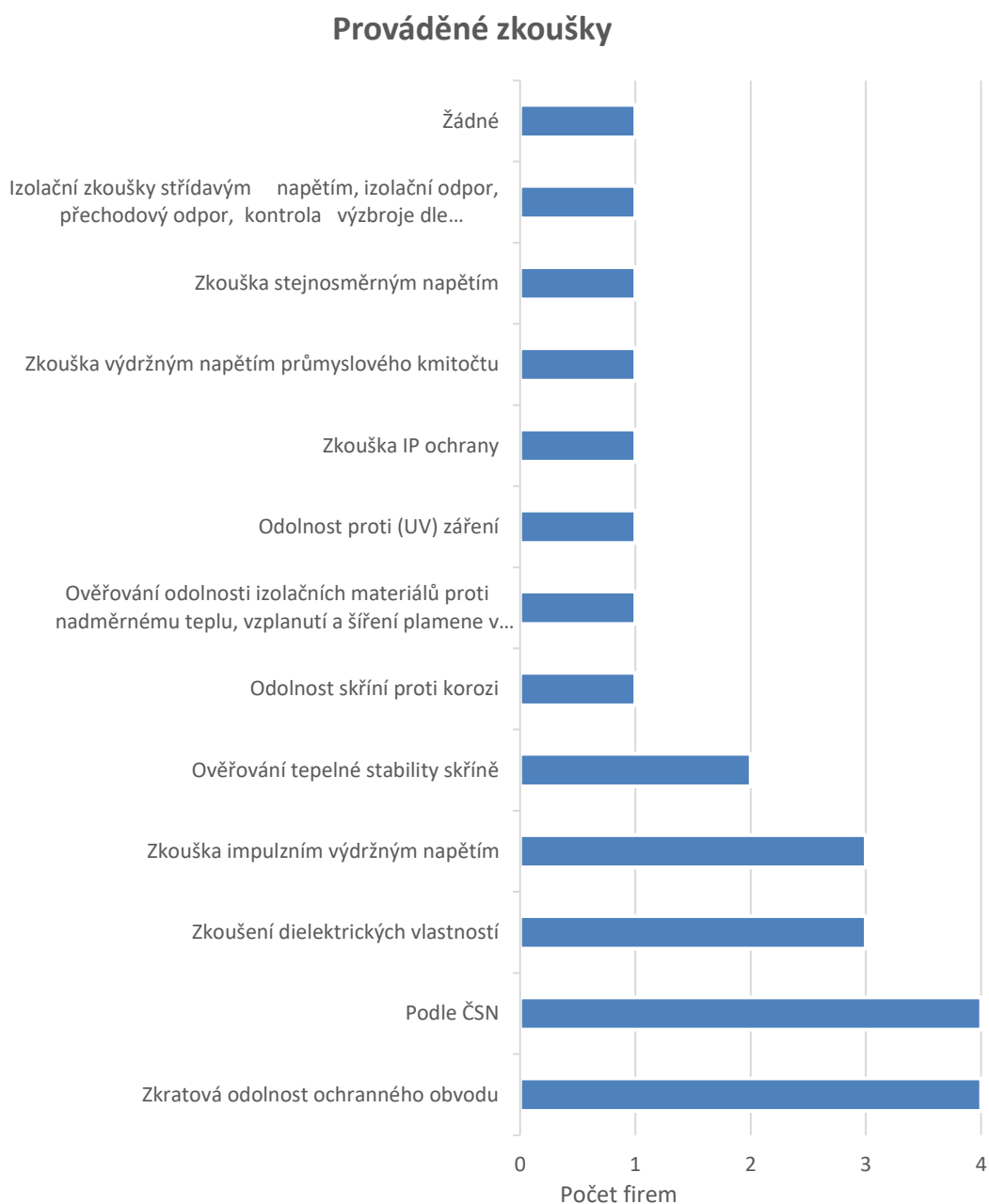


Při návrhu rozváděčů pracují nejvíce týmy do pěti konstruktérů, celkem 12 ze 14 firem. Méně pak firmy pracují ve skupinách od 5 do 10 konstruktérů nebo ve 30 konstruktérech. Deset firem ze čtrnácti navrhuje rozváděče do 1000 A, zbývající firmy nad 1000 A a pouze dvě firmy navrhující rozváděče se současně nezabývají jejich výrobou.

Následně se dotazník zabýval otázkami týkajícími se zkoušek prováděných na rozváděči. U těchto otázek docházelo k postupnému ztracení respondentů. Nejprve bylo zjištěno, že nejvíce firem provádí zkoušky rozváděče interně (9) a zbytek externě (5). Nejčastěji najímaná externí firma pro zkoušky byla firma IVEP, a.s.

V grafu 2 jsou vyjádřeny prováděné zkoušky a jejich četnost. Největší zastoupení, a to celkem čtyř firem má zkouška zkratové odolnosti ochranného obvodu. Další čtyři firmy v dotazníku uvedly, že provádějí všechny zkoušky udávané normou ČSN. Jedna firma dokonce nekoná žádné zkoušky, to je způsobeno pravděpodobně najmutím externí firmy pro provádění zkoušek.

Graf 2: Prováděné zkoušky

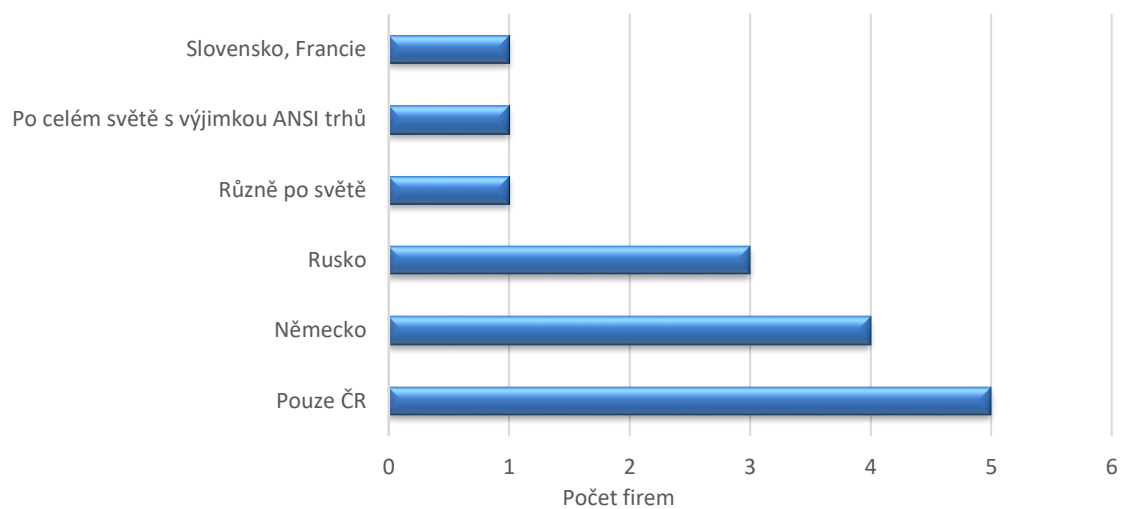


Další část dotazníku je věnována zkouškám k ověření oteplení rozváděčů, kdy většina respondentů uvedla, že jejich firma takovýto typ zkoušky neprovádí, přesněji 6, je to nejspíše způsobeno tím, že tato zkouška není povinná. Přesto dvě dotazované firmy tento typ zkoušky provádí, přesněji dělají zkoušku kompletního rozváděče a výsledky ověřují analytickými výpočty.

V grafu 3 je možné vidět export rozváděčů. Nejvíce firem (5) vyrobené rozváděče za hranice nevyváží. Rozváděče jsou nejvíce exportované do Německa (4) a Ruska (3).

Graf 3: Export rozváděčů

Export rozváděčů



4 POROVNÁNÍ SOFTWARE PRO NÁVRH ROZVÁDĚČŮ

Kapitola 4 je zaměřena na porovnání softwarů vycházejících z dotazníku.

4.1 EPLAN Electric P8

EPLAN Electric P8 je produktem firmy nesoucí stejný název, tzn. EPLAN, je součástí skupiny Friedhelm Loh Group, která zaměstnává celosvětově více než 11 500 zaměstnanců a její obrat v roce 2014 činil 2,2 miliardy eur. EPLAN Electric P8 nabízí projektování, dokumentaci a řízení projektů elektrotechnické automatizace. Program poskytuje detailní zprávy schémat zapojení a v současné době je nejnovější verze 2. 6. [2]

Zajímavou funkcí programu EPLAN a Rittal pro tuto diplomovou práci je integrace tepelného návrhu, jedná se o integrovaný konstrukční systém, který pomáhá zabránit chybám při návrhu vnitřního prostředí rozváděčů. Tato novinka nabízí uživatelům výrazné zlepšení v oblasti konstrukce, chlazení a bezproblémový provoz rozváděčů s automatizační technikou. Konstrukteři mohou kontrolovat vnitřní uspořádání komponentů rozváděče a regulovat ho. Velmi důležité pro konstruktéry je mít přehled o kritických místech uvnitř rozváděče, která vyžadují speciální chlazení. Proto pro lepší přehlednost kritických míst vyšla na podzim roku 2016 nová funkce, která umožňuje barevně rozlišit instalované komponenty podle hustoty ztrátového tepla. Návrh rozváděče bude moci být kontrolován i z hlediska distribuce ztrátového tepla v jeho celém objemu. [3]

Z hlediska chlazení je v rozváděči velmi důležité, aby byla zachována bezproblémová cirkulace vzduchu, proto je možné v programu si znázornit místa, která musí zůstat volná pro cirkulaci vzduchu, současně jsou zobrazovány i místa s ideálními podmínkami chlazení. V místech, kde program vyhodnotí kritická místa pro cirkulaci vzduchu, se nesmí nacházet žádné komponenty, jinak by chladicí systém nemohl dodávat potřebný objem chladícího vzduchu na potřebná místa v rozváděči. EPLAN zobrazuje i důležité parametry např. maximální dovolenou vzdálenost přístroje od zdroje chlazení, a dokonce i úhel proudícího vzduchu na aktivní část přístroje. [3]

Firma EPLAN nabízí i další produkty jako např. EPLAN Smart Wiring. Tato platforma dokáže projektantovi urychlit čas při pospojování komponentů rozváděče. Program vizualizuje všechna propojení a dodává data v digitální formě, dokonce umí informovat o jednotlivých průřezích vodičů, použitých barvách a způsobech zapojení. Je zde zaručená kompatibilita s vybranými produkty od společnosti Microsoft, například je možné do programu nahrát informace z Excelu, díky nimž může být určen postup zapojení. Tento program má uplatnění u projektů,

u kterých se pracuje v týmech, protože po dokončení spojů, dochází ve schématu k jejich označení zelenou barvou. Další členové týmu mohou pokračovat tam, kde skončili jejich kolegové. [4]

EPLAN Pro Panel je program umožňující 3D projektování řídicích skříní a systémů.

4.1.1 Systémové požadavky [5]

Pro spuštění a provoz aktuální verze EPLANU 2.6 je potřeba mít na počítači instalovaný NET Framework verzi 4.0 od společnosti Microsoft.

Kompatibilita s Microsoft

Platforma EPLAN je k dispozici pouze pro 64 bitové verze operačních systémů: Microsoft Windows 7, 8, 8.1, 10 a je kompatibilní s:

- Microsoft Office 2010, 2013, 2016 (32 a 64 bitů),
- Microsoft Internet Explorer 10, 11,
- Microsoft Edge.

Kompatibilita s produkty Autodesk

EPLAN je kompatibilní s programy od firmy Autodesk:

- AutoCAD 2015, 2016,
- Autodesk Vault 2014, 2015.

Kompatibilita s PLC systémy:

- ABB Automation Builder 1.1,
- Beckhoff TwinCAT 2.10,
- Beckhoff TwinCAT 2.11,
- 3 S Codesys,
- Mitsubishi GX Works2,
- Rockwell RSLogix professional 20,
- Rockwell RSLogix professional 21,
- Schneider Unity Pro 7.0,
- Schneider Unity Pro 8.0 / 8.1,
- Siemens SIMATIC STEP 7 verze 5.4 SP4,
- Siemens SIMATIC STEP 7 verze 5.5.

Hardwarové požadavky:

Firma EPLAN uvádí na svých oficiálních stránkách doporučené hardwarové požadavky na bezproblémový chod svého produktu.

Tabulka 3: Hardwarové požadavky EPLAN Electric P8 [5]

Procesor	Více jádrové CPU (není více specifikováno)
Monitor, rozlišení	Grafické rozlišení 1680 x 1050
3D zobrazení	Grafická karta Nvidia nebo AMD s aktuálním ovladačem Open GL. Grafická karta by měla být výkonem srovnatelná kartě Nvidia Quadro 600.
Velikost místa na disku	8 GB
Pevný disk	500 GB

Výrobce je doporučeno používat servery od společnosti Microsoft:

- Microsoft SQL Server 2008 R2,
- Microsoft SQL Server 2012, 2014.

Tabulka 4: Doporučené parametry sítě EPLAN Electric P8 [5]

Přenosová rychlost	1 Gbits/s
Přenosová rychlost počítače	100Mbit/s
Doporučená doba odezvy	max. 1 m s

4.2 Therm – Rittal

Therm – Rittal je produktem německé firmy Rittal. Firma má své zastoupení i v ČR, kde tým tvoří v současné době kolem 50 zaměstnanců. Rittal softwarově spolupracuje při návrhu rozváděčů s firmou EPLAN. [6]

Therm – Rittal je snadno ovladatelný, intuitivní program sloužící pro výpočet klimatizace rozváděčů a umožňuje uživateli rychle a správně dimenzovat podmínky pro chlazení. Výsledkem výpočtu je podrobná dokumentace, kterou je možné vytisknout nebo vložit do textového editoru. Veškeré výpočty, vyhodnocení jsou v souladu s platnými normami pro chladicí jednotky rozváděčových skříní. Ověření oteplení podle platných norem lze provést aplikací jednoho tlačítka.

Výsledná dokumentace výpočtů obsahuje [7]:

- výpočet povrchu rozváděče,
- pohlcený výkon rozváděče z vnějšího okolí nebo vyzařovaný výkon ze skříně do okolí,
- vypočtený potřebný chladicí výkon na základě předchozích výpočtů,
- velikost vnitřní teploty skříně bez chlazení,
- navržení možných řešení.

Možnosti softwaru [8]:

- možnost spolupráce se sítí,
- dává na výběr 16 jazyků,
- u komponentů nabízí možnost upravovat databáze se ztrátovými výkony,
- jednotlivé vyhodnocení, výsledky jsou v souladu s platnými normami,
- možnost výpočtu několika rozváděčů na jednou.

4.2.1 Systémové požadavky [9]

Firma Rittal uvádí na svých oficiálních stránkách doporučené systémové požadavky na bezproblémový chod svého produktu.

Tabulka 5: Hardwarové a softwarové požadavky programu Therm – Rittal [9]

Operační systém	Windows 2000 nebo XP: Pentium 4, Celeron nebo rovnocenný procesor AMD, velikost operační paměti 512 MB. Windows Vista nebo 7: dvou nebo jedno jádrový procesor, minimálně 1 GB operační paměti.
Procesor	CPU s doporučenou taktovací frekvencí 1,8 GHz
Volné místo na disku	500 MB
Internetový prohlížeč	Microsoft Internet Explorer 6.0 nebo novější verzi, Mozilla Firefox 3.0 nebo novější, Opera 8.54 nebo 9.63

Jak je možné vidět, systémové požadavky uvedené v tabulce 5 demonstrují nenáročnost programu na výpočetní techniku. Naskytuje se otázka, do jaké míry jsou tyto údaje aktuální, přestože byly převzaty z oficiálních stránek výrobce.

V současné době je nejnovější verzí programu Therm Rittal verze 6.3. Tato verze má několik užitečných novinek oproti starším verzím. Program je kompatibilní s výrobky od společnosti EPLAN. Například s programem EPLAN Pro Panel, kdy potřebná data na výpočet klimatu uvnitř skříně rozváděče se nahrají do programu Therm – Rittal a výsledná data se nahrají zpátky do EPLAN Pro Panel. Nejnovější verze přináší aktualizaci databáze, vylepšení síťových vlastností.

Firma Rittal nabízí pro všechny CAD systémy knihovnu RiCAD 2D a 3D výkresů. Formát CAD výkresů je univerzální a kompatibilní se všemi CAD systémy. Projektant získá několik vzorů, které může využít. Detaily v CAD modelech si lze zobrazovat postupně, což vede k lepší přehlednosti a efektivnosti práce. Získat knihovnu je možné jak off-line (databáze na pevném disku), tak online (prostřednictvím webových stránek).

4.3 SolidWorks

SolidWorks je produktem americké firmy SolidWorks Corporations, v roce 1997 byla firma zakoupena francouzskou společností Dassault Systèmes S. A.

Společnost nabízí produkty:

- 3D CAD,
- simulace,
- elektrotechnika,
- správa dat,
- technická komunikace,
- koncepční navrhování.

Jednotlivé produkty obsahují různé varianty, které se mezi sebou liší možnostmi využití, knihovnamí, nástroji. V další části budou popsány pouze vybrané části produktu.

3D CAD [10]

Je intuitivní software používající se pro 3D navrhování a nabízí několik variant:

- SolidWorks Standard je nejzákladnější verzí umožňující vytvářet výrobní výkresy s podrobnými detaily, konstruovat díly a následně z nich vytvářet sestavy. Varianta Standard nabízí nástroje k realizaci složitějších ploch, rozvinů plechových dílů, svařenců, ocelových konstrukcí a poskytuje návod pro automatizaci navrhování, dokonce analyzuje vliv výrobků na životní prostředí.

SolidWorks Standard obsahuje:

- 3D CAD SolidWorks,
 - konstruování dílů a sestav,
 - 2D výkresy,
 - opakovatelné využití návrhu a automatizací,
 - animace a vizualizace,
 - kontrola kolizí,
 - návrh pro výrobu,
 - nástroje pro prvotní analýzu,
 - spolupráce a sdílení CAD dat.
- SolidWorks Professional obsahuje všechny funkce, nástroje, které nabízí verze Standard, a navíc je rozšířena o další možnosti zvyšující produktivitu, přesnost, lepší komunikaci návrhových informací. Verze Professional nabízí škálu knihoven obsahujících standardizované díly dle norem, spojovací materiály, nástroje určující předpoklady výrobních nákladů spojené s výrobou, nástroje pro přesun importované geometrie a hledání chyb ve výkresu. Program také obsahuje nástroje pro sledování a kontrolu dat v návrhu projektu.

SolidWorks Professional obsahuje:

- CAD knihovny,
 - vyspělé navrhování pro odvětví strojírenství a výroby,
 - předpoklad výrobních výdajů (SOLIDWORKS Costing),
 - pokročilou podporu importu CAD souborů,
 - nástroje pro vyšší produktivitu,
 - rozšířené fotorealistické vizualizace (PhotoView 360),
 - kontrolu CAD standardů a norem,
 - správu dat SOLIDWORKS,
 - eDrawings® Professional.
- SolidWorks Premium: jedná se z hlediska nástrojů, možností, funkcí o nejrozšířenější verzi. Tato verze oproti ostatním verzím nabízí nové funkce pro rozvody elektrických kabelů, potrubí, reverzní inženýrství. Uživatel se již v prvotní fázi návrhu může díky bohatým simulacím provozních podmínek ujistit o proveditelnosti navrhované sestavy, dílu. Verze Premium nabízí kompatibilitu s naskenovanými 3D daty.

SolidWorks Premium obsahuje:

- časově závislou analýzu pohybu,
- lineární statickou analýzu pro díly a sestavy,
- automatizovanou analýzu tolerančních řetězců (TolAnalyst),
- rozvody potrubí a pružných hadic,
- rozvody elektrických kabelů a kabelových svazků,
- reverzní inženýrství (ScanTo3D),
- SolidWorks Sustainability,
- Advanced Surface Flattening,
- tvorba obdélníkových a jiných průřezů potrubí.

SolidWorks Simulation [11]

Prostřednictvím tohoto softwaru dochází k hledání nedostatků u výrobků před jejich realizací. V simulacích se nastavují provozní podmínky výrobků a testují se jejich parametry, odolnost, statická a dynamická odezva, pohyb sestavy atd. SolidWorks Simulation nabízí několik variant:

- SolidWorks Simulation Standard nabízí virtuální pracovní prostředí pro statickou analýzu, časově řízený pohyb, únavu vysokým počtem zatěžovacích cyklů. Funkce sledování trendu a náhled poskytují možnost ideálního výběru řešení při návrhu. SolidWorks Simulation Standard poskytuje konstruktérovi důležité informace o výrobku, zda bude v reálném prostředí fungovat správně a jak dlouhou životnost bude mít.

SolidWorks Simulation Standard obsahuje:

- sledování trendu,
- pohybové studie,

- únavové analýzy,
 - analýzy metodou konečných prvků,
 - lineární napěťové analýzy,
 - pevnostní analýzy.
- SolidWorks Simulation Professional dává možnost provádět mechanickou odolnost výrobků, odhadnout jejich životnost, určit základní frekvence, zkoumat přenos tepla a deformaci. Výrobky se dají vlivem fyzikálních a geometrických parametrů zdokonalovat.

SolidWorks Simulation obsahuje:

- analýzu pádové zkoušky,
 - frekvenční analýzu,
 - tepelnou analýzu,
 - analýzu plastových a pryžových částí,
 - lineární pevnostní analýzu,
 - analýzu vibrací.
- SolidWorks Simulation Premium umožňuje kontrolovat návrhy z hlediska dynamiky, tzn. lineární a dynamické odezvy, dynamického zatížení. Verze je rozšířená o nástroje poskytující informace vlivem, kterých dochází ke zvýšení spolehlivosti a efektivnějšímu provedení výrobku.

SolidWorks Simulation Premium obsahuje:

- tepelnou analýzu kapalin,
- nelineární analýzu,
- strukturální optimalizace,
- analýzu pohybu,
- analýzu lineárního zatížení,
- analýzu vibrací,
- únavovou analýzu,
- teplotní analýzu.

SolidWorks Electrical [12]

V tomto softwaru lze navrhovat jednoduchá, ale i více liniová vedení. SolidWorks Electrical nabízí několik variant:

- SolidWorks PCB byl vytvořen pro spolupráci s CADEM od společnosti SolidWorks. Nejprve se výrobek navrhne v CADU a následně se plošné spoje zhotoví v SolidWorks PCB.
- SolidWorks Electrical Schematic Standard je výkonný a intuitivní 2D CAD software zahrnující všechny funkce potřebné k navrhování jednoduchých a komplexních elektrických systémů, kabeláže. Inženýři proto mohou efektivně organizovat veškerou projektovou dokumentaci, schématické diagramy, správy, dokonce i zahrnout výrobní informace. Jedinečné a inovativní možnosti jako např. nástroj pro plánování jednoliniových schémat, lze použít během vývojového procesu k tvorbě zjednodušených reprezentací rozváděče nebo celého elektrického systému. Součásti lze

dodávat prostřednictvím knihovny značek. Díky propojení s více liniiovými schémata budou jakékoliv informace promítnuty zbytku dokumentace, aby byla zajištěna konzistence. Knihovna obsahuje tisíce značek a více než 500 000 vyrobených dílů, které lze při návrhu použít.

- SolidWorks Electrical 3D umožňuje propojení elektrických 2D schémata s 3D modely.
- SolidWorks Electrical Professional je kombinací SolidWorks Electrical Schematic Standard a SolidWorks Electrical 3D.

4.3.1 Systémové požadavky [13]

V současné době je nejnovější verze 2017. Hardwarové a softwarové požadavky jsou uvedeny v tabulce 6.

Kompatibilita s produkty od Microsoft

- Internet Explorer,
- Excel a Word 2010, 2013.

Kompatibilita s CAD systémy

SolidWorks umí importovat data z formátů: IGES, STEP, Parasolid, ACIS a formáty DWG a DXF zaručují kompatibilitu s ostatními CAD systémy.

Tabulka 6: Hardwarové a softwarové požadavky SolidWorks [13]

Operační systém	Windows 10, 8.1, 8.0, 64 - bit Windows 7 SP1, 64 - bit
Procesor	AMD nebo Intel s podporou SSE2 (podrobnější informace výrobce neuvádí)
Grafická karta	Obecné požadavky nejsou uvedeny. Na stránkách si lze ke svému typu počítače vyhledat doporučený typ grafické karty.
RAM	8 GB
Instalační požadavky	Pro instalaci je nutné mít DVD mechaniku nebo širokopásmové připojení k internetu.

4.4 E-Config 3

E-Config 3 je produktem americké společnosti Eaton Elektrotechnika s.r.o. Společnost se zabývá výrobou přístrojů pro domovní, průmyslové nebo distribuční použití. V roce 1993 společnost vstoupila na český trh a v roce 2012 bylo otevřeno

jejich první inovační centrum v Evropě se sídlem ve Vědeckotechnickém parku v Roztokách u Prahy.

E-Config slouží pro sestavování nabídek, objednávek, konfiguraci výrobků, technických specifikací a návrh rozváděčů. Protože je software produktem firmy Eaton, nacházejí se v knihovnách pouze výrobky od této společnosti. Program je volně stažitelný z oficiálních stránek výrobce, je potřeba pouze registrace. S programem je možné si stáhnout i aktuální knihovny a podrobný manuál, který provede uživatele od instalace až po samotný návrh. Jak už bylo zmíněno E-Config obsahuje v knihovnách pouze vlastní produkty. U produktů je uvedeno objednávací číslo, cena, popis výrobku, technické parametry. Užitečnou funkcí softwaru je konfigurace, sestavování vazeb mezi přístrojem a příslušenstvím (např. mezi jističem a pomocnými kontakty). U výkonových jističů jsou kvůli eliminaci chybného návrhu jednotlivé vazby kontrolovány automaticky. Vyhledávat přístroje, výrobky z knihovny lze pomocí výrobního čísla nebo podle požadovaných technických parametrů. [14]

Návrh rozváděče [14]

E-Config 3 umožňuje navrhovat malé rozvodnice i velké ucelené průmyslové rozváděče. Prvním krokem při návrhu rozváděče je výběr přístrojů. Software nabízí i možnost do databáze importovat produkty od jiných firem, které si uživatel musí nahrát sám. Rozváděč tedy může být sestaven z komponentů od více výrobců.

Následně návrh pokračuje výběrem rozváděčového systému, tzn., jestli se bude jednat o skříňový rozváděč, ocel-plechový atd. Už v této fázi program kontroluje vhodnost zvoleného systému s vybranými komponenty.

V dalším kroku dochází k uspořádání vnitřního prostředí rozváděče, např. montážních desek, přístrojových lišt, elektroměrových van atd. Software nabízí funkci automatického osazování vhodnou pro méně zkušené projektanty nebo projektanty, kteří se nechtějí zabývat návrhem detailně. K dispozici jsou i vytvořené standartní sestavy, které lze upravovat nebo použít jako předlohu.

Ted' už je všechno připraveno pro osazování přístrojů. Následně se provede kontrola, zda je provedeno správné uspořádání přístrojů a jestli je dodržena požadovaná rezerva. Program kontroluje i souvislosti spojené s usazováním přístrojů do vnitřního prostředí rozváděče jako např. způsob montáže, montážní hloubku, prostor na montážní liště atd. Neosazené výřezy v krycích deskách je potřeba utěsnit zásepky, program nabízí možnost automatického osazení.

Pokud není potřeba detailního návrhu, může se v tomto bodě práce ukončit vytisknutím výkresu a výpočtem ceny. Při detailní projekci se může pokračovat až do úrovně podrobného montážního výkresu. Návrh je ukončen výtiskem rozměrových výkresů a rozpisky obsahující komponenty včetně jejich cen. Program má funkci na výpočet celkové hmotnosti rozváděče.

Projektování rozváděče by se nemělo obejít bez kontroly na oteplení, která bývá velmi často zanedbávána, a proto software nabízí funkce na ověřování oteplení rozváděčů:

- u rozvodnic je pouze porovnáván ztrátový výkon použitých přístrojů s maximálně přípustným ztrátovým výkonem udávaným výrobcem pro daný typ rozvodnice. Výsledkem kontroly je konstatování: vyhovuje nebo nevyhovuje.
- U ocel-plechových rozváděčů se uskutečňuje podrobný výpočet oteplení podle platné normy. Kontrola oteplení je prováděna v horní části, v třech čtvrtinách a v jedné polovině výšky. U výpočtu je potřeba definovat způsob instalace, provozní parametry jako teplota okolí, proudové zatížení hlavních a podružných sběrnic. Výsledkem je grafické znázornění rozložení teploty uvnitř rozváděče, dokument lze vytisknout nebo uložit do formátu XLS.

4.4.1 Systémové požadavky [15]

Hardwarové a softwarové požadavky E-Config 3 na výpočetní techniku jsou uvedeny v tabulce 7.

Kompatibilita s produkty od Microsoft

Software spolupracuje s programem Excel pro import a export dat.

Kompatibilita s CAD systémy

E-Config 3 je kompatibilní s ostatními CAD systémy prostřednictvím datového formátu DXF.

Tabulka 7: Hardwarové a softwarové požadavky E-Config 3 [15]

Operační systém	Windows XP, Windows Vista, Windows 7, Windows 8, Windows 10
Grafická karta	Grafická karta s minimálním rozlišením 1024x768
RAM	1 GB a více
Volné místo na disku	2,5 GB
Ostatní požadavky	Microsoft Excel pro import a export dat v datovém formátu XLS

4.5 Srovnání softwarů

Tabulka 8 porovnává mezi sebou softwary uvedené v kapitole 4. Někteří výrobci neuváděli kompletní systémové informace, jako např. u SolidWorks, kde na oficiálních stránkách není uvedena požadovaná minimální velikost volného místa na disku pro instalaci a bezproblémový chod programu. Z tabulky 8 jde vypožorovat, že všechny uvedené programy jsou kompatibilní s produkty od Microsoft a CAD

systémy většinou prostřednictvím datového formátu DXF. Programy se mezi sebou liší nabízenými funkcemi, nástroji, knihovnami a softwarovými, hardwarovými požadavky.

Tabulka 8: Porovnání vybraných softwarů mezi sebou

	Místo na disku	Procesor	Kompatibilita s		
			CAD systémy	Microsoft produkty	Jinými systémy
EPLAN Electric P8	8 GB	Více jádrové CPU	ANO	ANO	ANO
Therm-Rittal 1	500 MB	CPU s $f=1,8$ GHz	ANO	ANO	ANO
SolidWorks	Neuvádí	AMD, Intel s podporou SSE2	ANO	ANO	ANO
E-Config 3	2,5 GB	Neuvádí	ANO	ANO	Neuvádí

5 OVĚŘENÍ OTEPLENÍ STAVEBNÍHO ROZVÁDĚČE

V této kapitole je popsáno a vyhodnoceno měření oteplení stavebního rozváděče.

5.1 Zkoušené zařízení

Zkoušeným zařízením této diplomové práce je stavební rozváděč. Přístroje osazené v rozváděči jsou výrobky firem ABL a OEZ.

Parametry zkoušeného zařízení:

- $U_n = 3 \cdot 230/400 \text{ V}$,
- $I_n = 79,5 \text{ A}$,
- $f = 50 \text{ Hz}$,
- $RDF = 0,5$,
- síť TNC-S,
- stupeň krytí IP 44 /21.

Na přívodní svorky rozváděče jsou přivedeny napájecí kabely o průřezu 70 mm^2 . Z přívodních svorek je napojen ruční pákový vypínač vodiči o průřezu 70 mm^2 . Z ručního pákového vypínače je vodičem o průřezu 25 mm^2 napojena horní a dolní lišta rozváděče prostřednictvím třífázových jističů F1, F2 a F3.

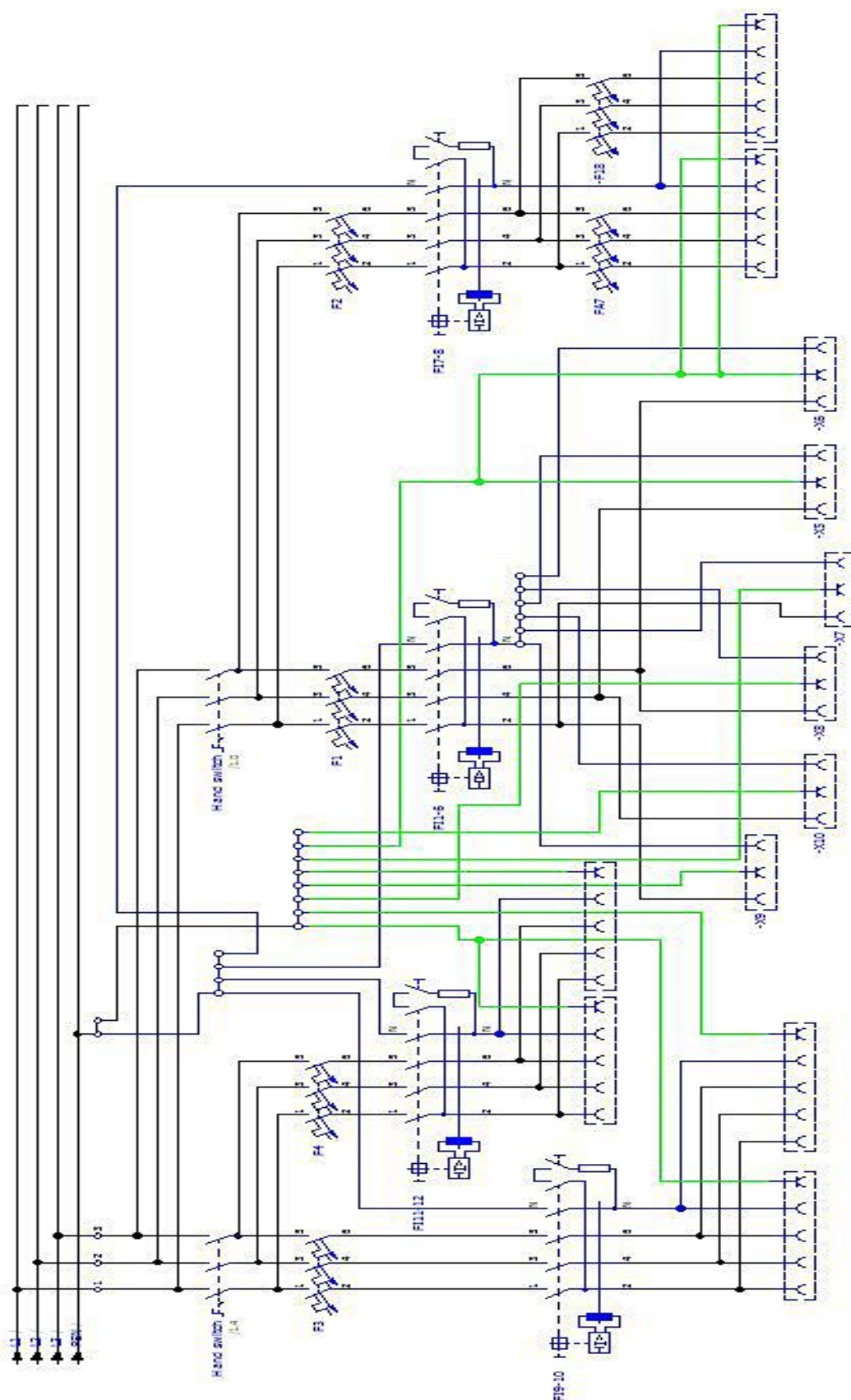
Na začátku řady 1 rozváděče jsou propojovací lištou navzájem propojeny dva třífázové jističe F1 a F2. Na tyto dva jističe jsou připojeny vodiči o průřezu 6 mm^2 dva proudové chrániče FI1-6 a FI7-8. Chránič FI1-6 je propojen propojovacími lištami se šesti jednofázovými jističi (FA1 až FA6) a chránič FI7-8 se dvěma třífázovými jističi FA7 a FA8. Tyto jističe jsou spojeny s šesti jednofázovými (8 A) a dvěma třífázovými (16 A) zásuvkami.

Na začátku řady 2 jsou propojeny dva třífázové jističe F3 a F4 vodiči o průřezu 10 mm^2 . Stejnými vodiči je jističem F3 napojen proudový chránič FI9-10. Proudový chránič FI11-12 je připojen k jističi F4 vodiči o průřezu 10 mm^2 . Dvě třífázové zásuvky (63 A) jsou spojeny s FI9-10 vodiči o průřezu 16 mm^2 . S FI11-12 jsou propojeny dvě třífázové zásuvky (32 A) vodiči o průřezu 6 mm^2 .

5.1.1 Schéma zapojení

Třípólové schéma zapojení rozváděče nakreslené v programu EPLAN Education.

Obrázek 1: Schéma zapojení rozváděče



5.2 Provedené zkoušky

Na zkoušeném zařízení bylo provedeno ověřování oteplení zkoušením dle normy ČSN EN 61439-1 ed.2. podle všeobecných podmínek uvedených v článku 10. 10. - Ověřování se zřetelem na jednotlivé funkční jednotky samostatně a na kompletní rozváděč:

- kritická varianta funkční jednotky samostatně,
- ověření kompletního rozváděče.

5.3 Podmínky zkoušky

Před začátkem a na konci každého měření byly zaznamenávány okolní podmínky měření, které jsou uvedeny v tabulce 9.

Tabulka 9: Okolní podmínky měření

Podmínky měření kritické varianty funkční jednotky samostatně a soudobosti								
Měření varianty	Začátek měření				Konec měření			
	Teplota okolí	Tlak okolí	Rosný bod	Vlhkost	Teplota okolí	Tlak okolí	Rosný bod	Vlhkost
	$\vartheta_{okolí}$	$P_{okolí}$	ϑ_B	φ	$\vartheta_{okolí}$	$P_{okolí}$	ϑ_B	φ
	[K]	[hPa]	[°C]	[%]	[K]	[hPa]	[°C]	[%]
FA6	23,9	1001	-2,0	18,0	24,0	1001	-1,2	18,7
FA8+FI7-8	23,4	1002	-4,3	15,8	23,6	1001	-3,6	15,8
F3+FI9-10	23,8	1000	-3,0	17,6	24,0	998	-2,2	17,3
F4+FI11-12	23,5	988	1,1	23,4	23,6	986	0,5	21,6
Soudobost	23,4	983	0,7	22,7	23,6	984	0,7	22,2

5.4 Nastavené parametry

Před měřením byla podrobně prostudována příslušná norma. Prvním krokem v přípravě měřicího pracoviště bylo zjistit, jak velký průřez vodičů je nutné použít pro přívodní kabely. Hodnota průřezu přívodních kabelů se odvíjela od jmenovitého proudu rozváděče. Na štítku rozváděče byl uveden jmenovitý proud $I_n = 250$ A. Podle normy by měl být průřez pro takovou velikost proudu roven 120 mm^2 . Dalším krokem bylo zjistit maximální skutečnou velikost proudu, který může rozváděč odebírat. Tato velikost proudu je dána součtem proudů výstupních obvodů vynásobených součinitelem soudobosti.

Výpočet maximálního možného odebíraného proudu:

Výstupní obvody se skládají z:

- šesti jednofázových 16 A jističů, které jsou z třífázového hlediska rovný maximálnímu odběru 32 A,
- dvou třífázových 16 A jističů,
- jednoho 32 A jističe,
- jednoho 63 A jističe.

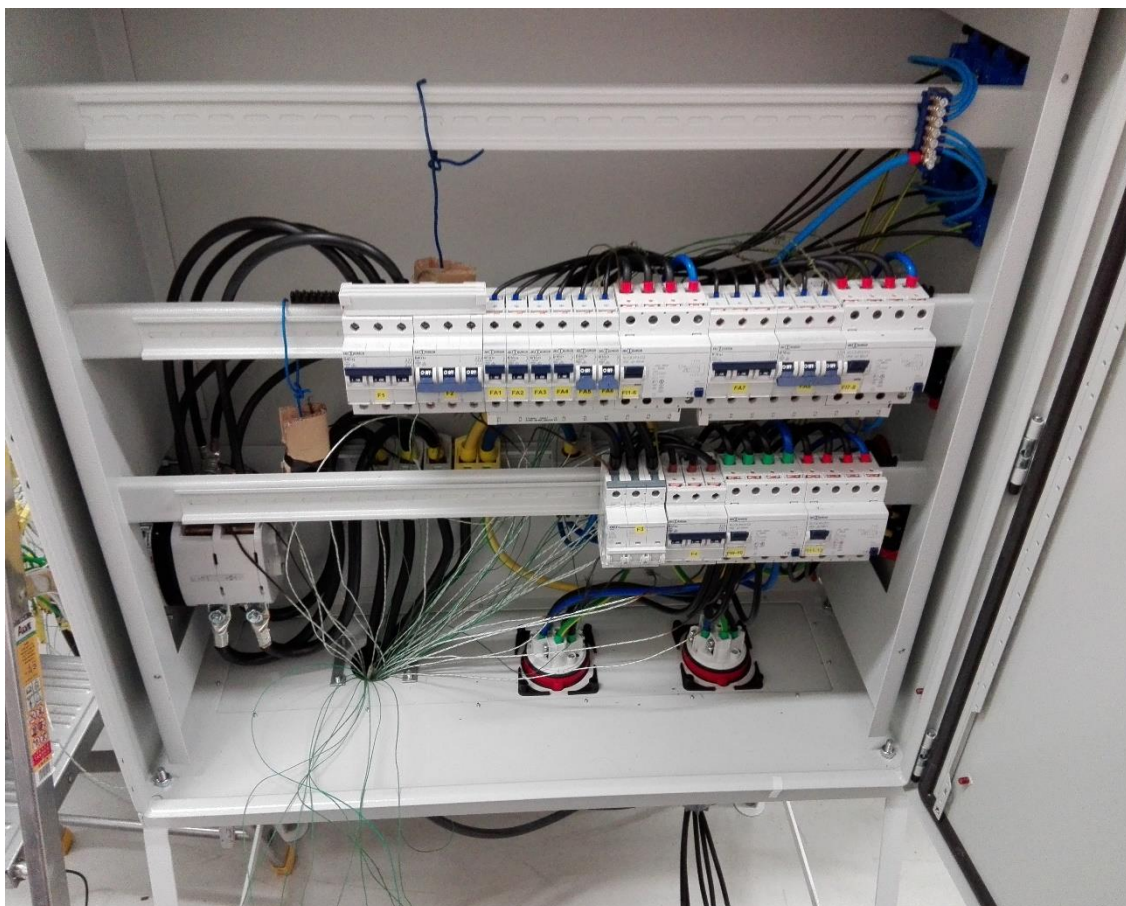
$$I_{max} = I_{\Sigma} \cdot RDF \quad 2.4.1$$

$$I_{max} = 79,5 \text{ A} \quad 2.4.2$$

Maximální možný odebíraný proud rozváděče je roven 79,5 A. Výrobce tedy uvádí na štítku rozváděče naddimenzovanou hodnotu jmenovitého proudu (250 A). Z tohoto důvodu je možné zvolit menší průřez přívodních kabelů. Pro měření byly zvoleny přívodní kabely o průřezu 70 mm², jelikož přívodní svorky napojují ruční pákový vypínač vodiči 70 mm². Připojení přívodních kabelů na svorkovnice musí být utaženo momentem, který udává výrobce svorkovnic pro daný průřez a typ vodiče. Pro svorkovnice použité v rozváděči to byla hodnota 25 N m.

Měření probíhalo se třemi jednofázovými zdroji zapojenými do hvězdy. Měření oteplení jednotlivých přístrojů probíhalo pomocí termočlánků typu K zapojených do měřicí základny. Termočlánky se umísťovaly na horní připojovací terminál, dolní terminál, páku a kryt přístroje v souladu s normou. Bylo důležité, aby termočlánky byly dobře tepelně propojeny s měřeným místem. Terminály je nutné utáhnout momentem o velikosti, kterou udává příslušná norma nebo výrobce přístroje. Byla měřena i teplota uvnitř a vně rozváděče. Měření venkovní teploty probíhalo za normou předepsaných podmínek, pomocí dvou termočlánků umístěných ve výšce jedné poloviny rozváděče a ve vzdálenosti 1 m od skříně. V měřicí místnosti bylo zajištěno, aby nedocházelo k nechtěnému proudění vzduchu většímu, než je normou předepsaná mez.

Obrázek 2: Zapojení termočlánků



Měření kritické varianty funkční jednotky samostatně

Nejprve byly změřeny nejkritičtější přístroje z výstupních jednotek. Měřicí základna teploty byla nastavena tak, aby zaznamenávala naměřenou hodnotu v půl minutových intervalech. Při měření musí být rozváděč v provozním stavu. Na konci každého měření byla naměřena teplota v nejteplejší části kovového krytu vně rozváděče dotykovým čidlem.

Zkouška 1: Z jednofázových výstupních obvodů byl vyhodnocen a tedy měřen jako nejkritičtější přístroj jistič FA6, protože se nachází vedle proudového chrániče FI1-6, ze kterého jsou napájeny všechny výstupní jednofázové obvody, tudíž je v této oblasti předpokládána generace největšího množství tepla. Na zdroji byl nastaven proud pro maximální zatížení výstupního obvodu, tedy 16 A. Nesmí se zapomenout na zkratování zásuvky, která přísluší k měřenému jističi, zkratovací propojkou o průřezu 2,5 mm². Stejný postup se uplatnil i pro měření nejkritičtějších variant přístrojů třífázových obvodů.

Zkouška 2: První třífázový jistič byl změřen FA8 s proudovým chráničem FI7-8. Na zdrojích bylo nastaveno 16 A.

Zkouška 3: Další měření proběhlo na třífázovém jističi F3 a proudovém chrániči FI9-10, na zdrojích byla nastavena hodnota proudu 63 A.

Zkouška 4: Posledním měřeným přístrojem v tomto typu měření byl třífázový jistič F4 s proudovým chráničem FI11-12, nastavovaná hodnota na zdrojích byla 32 A.

Během každého měření bylo nutné kontrolovat nastavené hodnoty proudu na zdrojích. Vlivem zahřívání měřených přístrojů se měnila jejich rezistence a byla potřeba doregulovat proud.

Konec měření nastal, až teploty měřených částí přístrojů dosáhly ustáleného stavu.

Obrázek 3: Průběh měření



Měření soudobosti

Zkouška 5-10: Soudobost rozváděče se z důvodu nedostatku termočlánků měřila dvakrát, nejprve pro přístroje osazené v řadě 1 a druhý den pro přístroje osazené v řadě 2. Aby byla soudobost správně změřena, musely se na výstupy obvodů (zásuvky) zapojit zkratové propojky. Propojky představovaly zatížení, u kterých

změnou délky byla měněna rezistence a tím i velikost protékajícího proudu. Propojkami jednofázových zásuvek měl protékat proud 8 A, u třífázových zásuvek 8, 16 a 31,5 A, s odchylkou v toleranci 0-3 % pro jednotlivé fáze a ± 5 % pro efektivní třífázovou hodnotu. Velikost proudu, který propojkou měl téci byl určen podle rovnic 2.4.3 a 2.4.4.

$$I_{propojky} = I_{n1-f} \cdot RDF \quad 2.4.3$$

$$I_{propojky} = 16 \cdot 0,5 = 8 \text{ A} \quad 2.4.4$$

Obrázek 4: Zapojení zásuvkových zkratovacích propojek



Na zdrojích byla nastavena maximální velikost proudu, který může rozváděč při $RDF = 0,5$ odebírat, tzn. 79,5 A.

Při ladění délek a průřezů jednotlivých propojek, byl obvod z hlediska úspory elektrické energie a času na chlazení napájen polovičním proudem.

Kromě přístrojů se měřil i ruční pákový vypínač a svorkovnice.

5.5 Měřicí přístroje

Tabulka 10: Měřicí přístroje

Název přístroje	Výrobce	Typ	Platnost kalibrace	Výrobní, inventární číslo
Zdroj	KPB Intra			100112
Zdroj	KPB Intra			100113
Zdroj	KPB Intra			100114
Rogowského cívka	Chauvin Arnoux	A 50	13. 2. 2015	8017-KL-T0057-15
Rogowského cívka	Chauvin Arnoux	A 50	13. 2. 2015	00100021 3339-0000
Rogowského cívka	Chauvin Arnoux	A 50	1. 7. 2015	1000213 337-0000
Multimetr	Beha Amprobe	Hexagon	1. 7. 2015	044421731
Multimetr	Beha Amprobe	Hexagon	1. 7. 2015	122180541
Multimetr	Beha Amprobe	Hexagon	1. 7. 2015	122180534
Dotykové čidlo	Ahlborn		1. 4. 2015	14090098
Měřicí základna teploty				000000317334-0000
Měřicí základna teploty				000000317335-0000
Barometr	Logger	D4130		16910113
Momentový šroubovák	Norbar Torque Tools	TTs	2. 5. 2015	13476
Momentový klíč	Norbar Torque Tools	TT 100	1. 2. 2015	13267
Termočlánky	Omega	K		

5.6 Výsledky měření

Naměřené výsledky byly zaznamenány do tabulek uvedených v této kapitole a průběhy byly vyneseny do grafických závislostí, viz. příloha A, B.

5.6.1 Výsledky měření kritické varianty funkční jednotky samostatně

V této podkapitole jsou uvedeny a interpretovány výsledky měření kritické varianty funkční jednotky samostatně pro přístroje FA6, FA8, FI7-8, F3, FI9-10, F4, FI11-12. Žádné části měřených přístrojů nepřekročily dovolenou mez oteplení danou normou.

Zkouška 1: Tabulka 11 demonstruje naměřené hodnoty jednofázového jističe FA6. Podle předpokladu nejvyšší hodnotu oteplení nabýval horní terminál vlivem konstrukčního uspořádání tepelné spouště. Horní terminál byl přehříván navíc i proudícím teplem.

Tabulka 11: Naměřené hodnoty jističe FA6

Měřená část	Naměřená hodnota oteplení	Maximální dovolené oteplení
	$\Delta\vartheta$ [K]	$\Delta\vartheta_{MAX}$ [K]
Horní kontakt	23,8	60
Dolní kontakt	16,5	60
Páka	9,9	40
Kryt	9,3	40
Teplota okolí na konci měření (průměr ze dvou bodů): 24,1 °C		
Maximální teplota uvnitř rozváděče v místě instalace: 26,1 °C		

Zkouška 2: Tabulka 12 vyjadřuje naměřené hodnoty třífázového jističe FA8. Nejvyšší hodnota oteplení vyšla u prostředního horního terminálu ze stejných důvodů, jaké byly popsány u FA6. Prostřední terminál byl navíc oproti jističi FA6 zahříván sousedními terminály. Společně s FA8 byl měřen i proudový chránič FI7-8 (viz tabulka 13). Nejvíce byly ohřáty spodní terminály, což mohlo být způsobeno konstrukcí kontaktního systému ve spodní části chrániče nebo rozdílového transformátoru (vířivé proudy).

Tabulka 12: Naměřené hodnoty jističe FA8

Měřená část	Naměřená hodnota oteplení	Maximální dovolené oteplení
	$\Delta\theta$ [K]	$\Delta\theta_{MAX}$ [K]
Horní levý t.	38,3	60
Horní střed. t.	42,8	60
Horní pravý t.	38	60
Dolní levý t.	27,3	60
Dolní střed. t.	30,3	60
Dolní pravý t.	27,7	60
Páka	21,3	40
Kryt	20,0	40
Teplota okolí na konci měření (průměr ze dvou bodů): 23,6 °C		
Maximální teplota uvnitř rozváděče v místě instalace: 26,4 °C		

Tabulka 13: Naměřené hodnoty proudového chrániče FI7-8

Měřená část	Naměřená hodnota oteplení	Maximální dovolené oteplení
	$\Delta\theta$ [K]	$\Delta\theta_{MAX}$ [K]
Horní levý t.	16,3	60
Horní střed. t.	13,5	60
Horní pravý t.	11,1	60
Dolní levý t.	21,2	60
Dolní střed. t.	20,3	60
Dolní pravý t.	17,6	60
Páka	10,8	40
Kryt	5,7	40
Teplota okolí na konci měření (průměr ze dvou bodů): 23,6 °C		
Maximální teplota uvnitř rozváděče v místě instalace: 26,4 °C		

Zkouška 3: Výsledky měření jističe F3 popisuje tabulka 14. Nejvíce se hranici dovoleného oteplení blížil dolní prostřední terminál, kde byla naměřena hodnota 57,95 K. Pravděpodobně to bylo způsobeno zúžením proudovodné dráhy jističe, průřezem kabelů připojených k jističi a umístěním tepelné spouště, která byla zahřívána procházejícím proudem.

Tabulka 14: Naměřené hodnoty jističe F3

Měřená část	Naměřená hodnota oteplení	Maximální dovolené oteplení
	$\Delta\theta$ [K]	$\Delta\theta_{MAX}$ [K]
Horní levý t.	41,65	60
Horní střed. t.	46,05	60
Horní pravý t.	43,85	60
Dolní levý t.	52,35	60
Dolní střed. t.	57,95	60
Dolní pravý t.	55,15	60
Páka	28,85	40
Kryt	33,95	40
Teplota okolí na konci měření (průměr ze dvou bodů): 23,65 °C		
Maximální teplota uvnitř rozváděče v místě instalace: 30 °C		

S jističem F3 byl společně měřen proudový chránič FI9-10, se kterým je propojen. Naměřené hodnoty znázorňuje tabulka 15. Proudový chránič FI9-10 nabýval nejvyšších hodnot na horních terminálech. To bylo způsobeno přiváděným teplem z jističe F3 a stoupajícím teplem. Dolní terminály nedosahovaly tak velké oteplení vlivem dobrého odvodu tepla, který byl zajištěn rozvětvenými vodiči připojenými na dolní terminály. Největší hodnota oteplení se nacházela dle předpokladu na prostředním terminálu, který je navíc zahříván i okolními terminály.

Tabulka 15: Naměřené hodnoty proudového chrániče FI9-10

Měřená část	Naměřená hodnota oteplení	Maximální dovolené oteplení
	$\Delta\theta$ [K]	$\Delta\theta_{MAX}$ [K]
Horní levý t.	51,35	60
Horní střed. t.	54,15	60
Horní pravý t.	45,95	60
Dolní levý t.	34,55	60
Dolní střed. t.	34,65	60
Dolní pravý t.	32,05	60
Páka	14,75	40
Kryt	14,15	40
Teplota okolí na konci měření (průměr ze dvou bodů): 23,65 °C		
Maximální teplota uvnitř rozváděče v místě instalace: 30 °C		

Zkouška 4: Posledním přístrojem z této skupiny měření byl měřen třífázový jistič F4 a proudový chránič FI11-12. Naměřené hodnoty demonstruje tabulka 16

a 17. V přístrojích nedošlo ani k přiblížení k dovolené mezi oteplení. Podle předpokladu byl nejvíce ohřátý horní terminál uprostřed.

Tabulka 16: Naměřené hodnoty jističe F4

Měřená část	Naměřená hodnota oteplení	Maximální dovolené oteplení
	$\Delta\vartheta$ [K]	$\Delta\vartheta_{MAX}$ [K]
Horní levý t.	43,15	60
Horní střed. t.	49,85	60
Horní pravý t.	43,25	60
Dolní levý t.	42,85	60
Dolní střed. t.	47,05	60
Dolní pravý t.	39,25	60
Páka	31,65	40
Kryt	30,55	40
Teplota okolí na konci měření (průměr ze dvou bodů): 23,55 °C		
Maximální teplota uvnitř rozváděče v místě instalace: 23,65 °C		

Tabulka 17: Naměřené hodnoty proudového chrániče FI11-12

Měřená část	Naměřená hodnota oteplení	Maximální dovolené oteplení
	$\Delta\vartheta$ [K]	$\Delta\vartheta_{MAX}$ [K]
Horní levý t.	20,55	60
Horní střed. t.	21,45	60
Horní pravý t.	18,05	60
Dolní levý t.	16,35	60
Dolní střed. t.	18,15	60
Dolní pravý t.	16,95	60
Páka	6,45	40
Kryt	6,25	40
Teplota okolí na konci měření (průměr ze dvou bodů): 23,55 °C		
Maximální teplota uvnitř rozváděče v místě instalace: 23,65 °C		

5.6.2 Výsledky měření soudobosti

V této části kapitoly jsou uvedeny naměřené hodnoty a interpretovány výsledky z měření soudobosti.

Při měření soudobosti byly zaznamenány naměřené hodnoty přístrojů: FA6, F2, FI1-6, FA8, FI7-8, F3, F4, FI9-10, FI11-12, ruční pákový vypínač a svorkovnice.

Žádné části měřených přístrojů nepřekročily dovolenou mez oteplení danou normou.

Zkouška 5: Nejteplejší částí FA6 už nebyl horní terminál, jak tomu bylo u měření nejkritičtější části funkční jednotky samostatně, ale terminál dolní. Teplo bylo přiváděno do dolního terminálu FA6 z proudového chrániče FI1-6, který napájel i zbylých pět jednofázových jističů. Kvůli napájení šesti jednofázových jističů bylo nejvíce tepla generováno ve spodních terminálech FI1-6 a část tohoto tepla bylo přenášeno krátkou dráhou do přívodního terminálu FA6. Terminál FA6 byl navíc přehříván i sousedním přístrojem FA5.

Tabulka 18: Naměřené hodnoty jističe FA6 při měření RDF

Měřená část	Naměřená hodnota oteplení	Maximální dovolené oteplení
	$\Delta\theta$ [K]	$\Delta\theta_{MAX}$ [K]
Horní terminál	21,05	60
Dolní terminál	23,35	60
Páka	12,75	40
Kryt	12,75	40
Teplota okolí na konci měření (průměr ze dvou bodů): 24 °C		
Maximální teplota uvnitř rozváděče v místě instalace: 26,7 °C		

Zkouška 6: Nejteplejší částí měřeného přístroje F2 (viz tabulka 19) byl horní pravý terminál. Je to způsobeno stoupajícím teplem.

Dále je možné z tabulky vypočítat, že teplota horního středního terminálu byla mnohem nižší než u ostatních terminálů. To bylo pravděpodobně způsobeno uvolněním termočlánku během měření.

Tabulka 19: Naměřené hodnoty jističe F2 při měření RDF

Měřená část	Naměřená hodnota oteplení	Maximální dovolené oteplení
	$\Delta\theta$ [K]	$\Delta\theta_{MAX}$ [K]
Horní levý t.	18,15	60
Horní střed. t.	9,95	60
Horní pravý t.	21,35	60
Dolní levý t.	20,25	60
Dolní střed. t.	20,05	60
Dolní pravý t.	19,95	60
Páka	14,25	40
Kryt	15,05	40
Teplota okolí na konci měření (průměr ze dvou bodů): 24 °C		
Maximální teplota uvnitř rozváděče v místě instalace: 26,7 °C		

Tabulka 20 demonstruje naměřené hodnoty proudového chrániče FI1-6 při měření RDF. Nejvyšší naměřené teploty nabývaly dolní terminály z důvodu provedení připojené zátěže.

Tabulka 20: Naměřené hodnoty proudového chrániče FI1-6 při měření RDF

Měřená část	Naměřená hodnota oteplení	Maximální dovolené oteplení
	$\Delta\theta$ [K]	$\Delta\theta_{MAX}$ [K]
Horní levý t.	17,25	60
Horní střed. t.	17,35	60
Horní pravý t.	16,35	60
Dolní levý t.	21,05	60
Dolní střed. t.	22,25	60
Dolní pravý t.	20,35	60
Páka	11,75	40
Kryt	9,25	40
Teplota okolí na konci měření (průměr ze dvou bodů): 24 °C		
Maximální teplota uvnitř rozváděče v místě instalace: 26,7 °C		

Zkouška 7: Dolní prostřední terminál FA8 byl naměřen jako nejteplejší (viz tabulka 21) vlivem interakce s FI7-8, kde byla také zjištěna nejvyšší hodnota na dolním terminálu kvůli zátěži, kterou představovaly FA7 a FA8. Teplo vzniklé na proudovém chrániči pak bylo přenášeno na vstup FA8.

Tabulka 21: Naměřené hodnoty třífázového jističe FA8 při měření RDF

Měřená část	Naměřená hodnota oteplení	Maximální dovolené oteplení
	$\Delta\theta$ [K]	$\Delta\theta_{MAX}$ [K]
Horní levý t.	20,5	60
Horní střed.t.	20,6	60
Horní pravý t.	18,6	60
Dolní levý t.	20,8	60
Dolní střed. t.	21,4	60
Dolní pravý t.	19,8	60
Páka	12,8	40
Kryt	12,7	40
Teplota okolí na konci měření (průměr ze dvou bodů): 24 °C		
Maximální teplota uvnitř rozváděče v místě instalace: 26,7 °C		

Tabulka 22: Naměřené hodnoty proudového chrániče FI7-8 při měření RDF

Měřená část	Naměřená hodnota oteplení	Maximální dovolené oteplení
	$\Delta\vartheta$ [K]	$\Delta\vartheta_{MAX}$ [K]
Horní levý t.	15,5	60
Horní střed. t.	14,7	60
Horní pravý t.	13,2	60
Dolní levý t.	18,4	60
Dolní střed. t.	18	60
Dolní pravý t.	16,5	60
Páka	9,1	40
Kryt	7,8	40
Teplota okolí na konci měření (průměr ze dvou bodů): 24 °C		
Maximální teplota uvnitř rozváděče v místě instalace: 26,7 °C		

Zkouška 8: Tabulka 23 demonstruje naměřené hodnoty třífázového jističe F3. Elektrická energie pro napájení celé dolní řady je přiváděna na horní terminály jističe F3, proto jsou i vlivem stoupajícího tepla nejvíce zahřáty.

Proudový chránič FI9-10 dosahoval nejvyššího oteplení na horních terminálech. Dolní terminály nabývaly nižší hodnoty oteplení, z důvodu dobrého odvodu tepla rozvětvenými vodiči připojenými na dolní terminály proudového chrániče (viz tabulka 24).

Tabulka 23: Naměřené hodnoty třífázového jističe F3 při měření RDF

Měřená část	Naměřená hodnota oteplení	Maximální dovolené oteplení
	$\Delta\vartheta$ [K]	$\Delta\vartheta_{MAX}$ [K]
Horní levý t.	20,4	60
Horní střed. t.	23,9	60
Horní pravý t.	23,1	60
Dolní levý t.	19,1	60
Dolní střed. t.	21	60
Dolní pravý t.	21,1	60
Páka	13	40
Kryt	13,8	40
Teplota okolí na konci měření (průměr ze dvou bodů): 23,5 °C		
Maximální teplota uvnitř rozváděče v místě instalace: 29,4 °C		

Tabulka 24: Naměřené hodnoty proudového chrániče FI9-10 při měření RDF

Měřená část	Naměřená hodnota oteplení	Maximální dovolené oteplení
	$\Delta\theta$ [K]	$\Delta\theta_{MAX}$ [K]
Horní levý t.	19,8	60
Horní střed. t.	19,8	60
Horní pravý t.	16,9	60
Dolní levý t.	13,7	60
Dolní střed. t.	13	60
Dolní pravý t.	11,8	60
Páka	11	40
Kryt	7,6	40
Teplota okolí na konci měření (průměr ze dvou bodů): 23,5 °C		
Maximální teplota uvnitř rozváděče v místě instalace: 29,4 °C		

Zkouška 9: Teplo bylo přiváděno z jističe F3 do F4 vodiči o průřezu 10 mm². Už v jističi F3 bylo teplo nejvíce koncentrováno v horních částech terminálů a část tohoto tepla byla přenášena krátkou dráhou vodiči o průřezu 10 mm² do F4. Z tohoto důvodu byla nejvyšší naměřená teplota na horních terminálech (viz tabulka 25).

Tabulka 25: Naměřené hodnoty třífázového jističe F4 při měření RDF

Měřená část	Naměřená hodnota oteplení	Maximální dovolené oteplení
	$\Delta\theta$ [K]	$\Delta\theta_{MAX}$ [K]
Horní levý t.	26,8	60
Horní střed. t.	28,4	60
Horní pravý t.	25	60
Dolní levý t.	20,3	60
Dolní střed. t.	19,7	60
Dolní pravý t.	17,2	60
Páka	16,8	40
Kryt	16,3	40
Teplota okolí na konci měření (průměr ze dvou bodů): 23,5 °C		
Maximální teplota uvnitř rozváděče v místě instalace: 29,4 °C		

Proudový chránič FI11-12 dosahoval nejvyššího oteplení na horních terminálech ze stejného důvodu jako FI9-10 (viz tabulka 26).

Tabulka 26: Naměřené hodnoty proudového chrániče FI11-12 při měření RDF

Měřená část	Naměřená hodnota oteplení	Maximální dovolené oteplení
	$\Delta\vartheta$ [K]	$\Delta\vartheta_{MAX}$ [K]
Horní levý t.	11,9	60
Horní střed. t.	11,2	60
Horní pravý t.	10,1	60
Dolní levý t.	9,4	60
Dolní střed. t.	9,2	60
Dolní pravý t.	8,7	60
Páka	6,2	40
Kryt	5,9	40
Teplota okolí na konci měření (průměr ze dvou bodů): 23,5 °C		
Maximální teplota uvnitř rozváděče v místě instalace: 29,4 °C		

Zkouška 10: Součástí měření soudobosti bylo i proměření terminálů jednotlivých fází ručního pákového vypínače a vstupní svorkovnice.

Terminály ručního pákového vypínače L_1 a L_3 byly více ohřáty, kvůli malé konstrukční vzdálenosti. Terminál L_2 byl vůči ostatním terminálům nejvíce vzdálen.

Naměřené hodnoty jednotlivých terminálů svorkovnice vyšly s minimální odchylkou shodně, proto nedocházelo k vzájemné tepelné interakci. Bylo to způsobeno vysokým tepelným odporem materiálu.

Tabulka 27: Naměřené hodnoty hand switche při měření RDF

Měřená část	Naměřené hodnoty	Maximální dovolené oteplení
	$\Delta\vartheta$ [K]	$\Delta\vartheta_{MAX}$ [K]
Kontakt L_1	15,4	70
Kontakt L_2	14,6	70
Kontakt L_3	16,3	70

Tabulka 28: Naměřené hodnoty svorkovnice při měření RDF

Měřená část	Naměřené hodnoty	Maximální dovolené oteplení
	$\Delta\vartheta$ [K]	$\Delta\vartheta_{MAX}$ [K]
Kontakt L_1	8,4	70
Kontakt L_2	8,5	70
Kontakt L_3	8,2	70

5.7 Výsledky zkoušky

Staveništní rozváděč vyhověl zkoušce oteplení, žádná část měřeného přístroje nepřekročila normou stanovenou mez oteplení.

6 SIMULACE OTEPLENÍ ROZVÁDĚČE

V této kapitole jsou provedeny simulace oteplení vybraného rozváděče v programech EPLAN Pro Panel a SolidWorks.

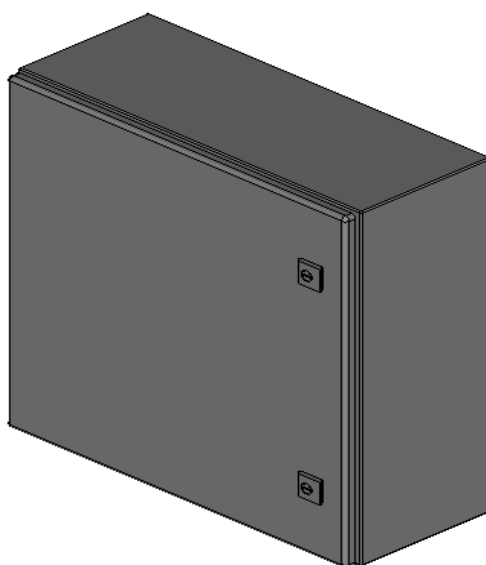
6.1 Simulace oteplení v EPLAN Pro Panel

Na základě dotazníkového šetření a dostupnosti byl zvolen pro simulaci oteplení rozváděče program EPLAN Education. Verzi Education lze stáhnout z oficiálních stránek firmy EPLAN. EPLAN Education nabízí i novou platformu Pro Panel, ve které probíhala simulace oteplení rozváděče. Během práce s EPLAN Pro Panel bylo zjištěno, že funkce programu jsou pro tuto diplomovou práci nevyhovující. Pro ilustraci nedostatků tohoto programu byl zvolen jednodušší model rozváděče.

6.1.1 Tvorba modelu v EPLAN Pro Panel

1. Po otevření programu se založil nový projekt přes funkci: Projekt → Nový. Následně se objevilo dialogové okno, ve kterém se zadaly údaje jako jsou: název projektu, umístění projektu, šablona. Šablona představuje normu a pro model byla vybrána šablona IEC_tpl001.ept. Po založení se nový projekt objevil na levé straně v návrhovém prostoru.
2. Dalším krokem bylo sestavení modelu. V panelu nástrojů byla vybrána funkce: Vložit → Přístroj → Mechanika → Jednotlivý díl → Skříňový rozváděč. Pro model byla vybrána skříň od firmy Rittal s rozměry: $w = 500 \text{ mm}$, $h = 500 \text{ mm}$, $d = 210 \text{ mm}$.

Obrázek 5: Skříň rozváděče



3. Dále bylo potřeba skříní osadit přístroji. V návrhovém prostoru se označila přední strana montážní desky. Na ni byly osazeny přes funkci Vložit montážní lišty. Na montážní lišty byly umístěny přístroje. Výběr přístrojů probíhal stejným postupem jako výběr skříně rozváděče. Pokud v databázi chyběla součást, bylo možné ji doplnit pomocí: Obslužné programy → Data Portal. Data Portal nabízí široké spektrum elektrických a mechanických přístrojů od mnoha firem. U vybraných přístrojů bylo potřeba zkontrolovat, zda jsou předdefinovány základní parametry jako proud, napětí, a hlavně ztrátový výkon.

Pro model byly vybrány přístroje od firmy ABB:

- 2x třífázový jistič (F1-F2) s $P_z = 14 \text{ W}$,
- 3 x jednofázový jistič (F3-F5) s $P_z = 2,1 \text{ W}$,
- 2x proudový chránič (FI1 a FI2) s $P_z = 4 \text{ W}$.

6.1.2 Simulace oteplení modelu v EPLAN Pro Panel

Po sestavení modelu bylo nutné nastavit správné podmínky simulace.

1. Byly nastaveny vlastnosti projektu přes funkci: Projekt → Vlastnosti. Objevilo se dialogové okno a zvolila se kategorie tepelné dimenzování. Do této kategorie byly zadány následující hodnoty: $U_n = 230 \text{ V}$, $f = 50 \text{ Hz}$, $RDF = 0,75$.
2. Bylo nutné nastavit parametry rozváděče přes funkci vlastnosti rozváděče. V dialogovém okně vlastností rozváděče byly zadány následující hodnoty:
 - maximální venkovní teplota: 50 °C ,
 - maximální vnitřní teplota: 65 °C ,
 - situace instalace: samostatné pouzdro volně stojící.
3. Nyní už bylo všechno připraveno k vypočítání a zobrazení celkového ztrátového výkonu. Výpočet ztrátového výkonu byl proveden přes: Obslužné programy → Vyhodnocení → Vypočítat celkový ztrátový výkon. Vypočítaný celkový ztrátový výkon byl zobrazen ve vlastnostech projektu.

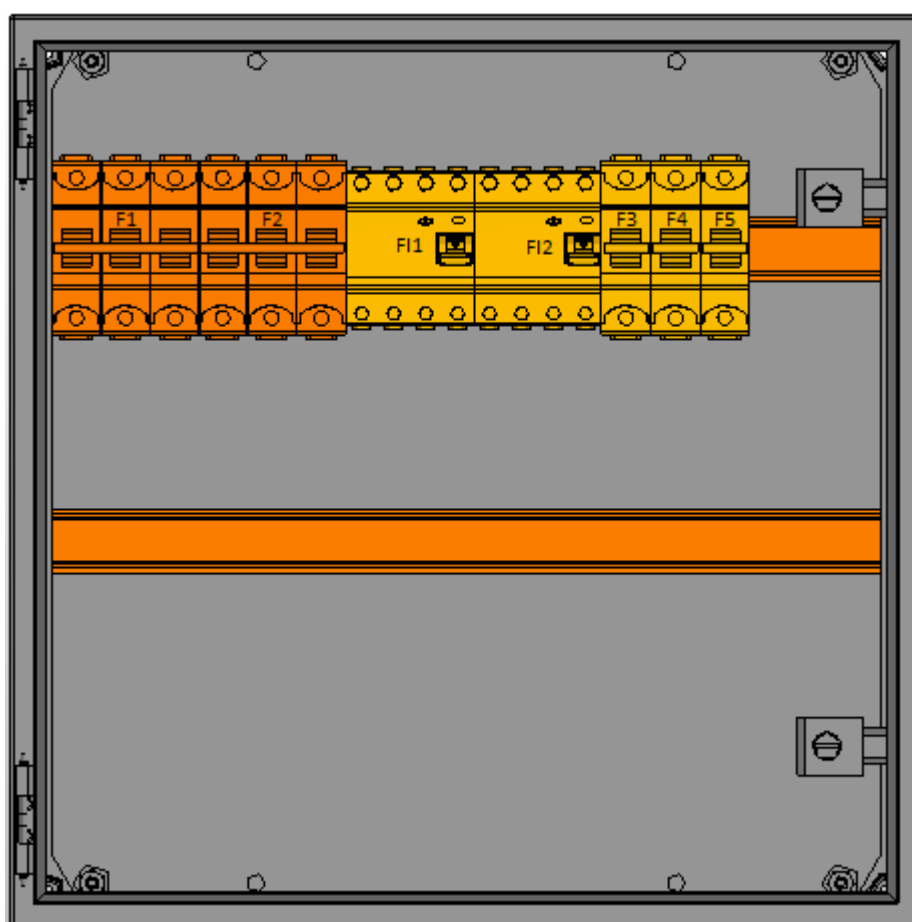
Obrázek 6: Zobrazení celkového ztrátového výkonu

Kategorie:	
Tepelné dimenzování	
Název vlastnosti	Hodnota
Tepelné dimenzování: Napětí	230V
Tepelné dimenzování: Frekvence	50 Hz
Tepelné dimenzování: Součinitel současnosti	0,75
Tepelné dimenzování: Celkový ztrátový výkon pro klimatizovanou oblast [1]	31,74 W

4. Hustota ztrátového výkonu byla zobrazena přes funkci: Zobrazení → Tepelné dimenzování → Hustota ztrátového výkonu.

Obrázek 7 demonstruje rozložení ztrátového výkonu v rozváděči. Přístroje v rozváděči byly záměrně uspořádány nepříznivě. Podle velikosti ztrátového výkonu byly jednotlivé přístroje zabarveny. Největší ztrátový výkon měly třífázové jističe $P_z = 14 \text{ W}$ a byly zabarveny oranžovou barvou. Přístroje s menším ztrátovým výkonem byly zabarveny žlutou barvou. Na druhou stranu, jednofázový jistič a proudový chránič měly jinou hodnotu ztrátového výkonu. Hodnoty se mezi sebou lišily o $1,9 \text{ W}$, ale z obrázku to nelze vyčíst. Dále nebylo možné vypočítat, jaké teploty přístroje nabývaly.

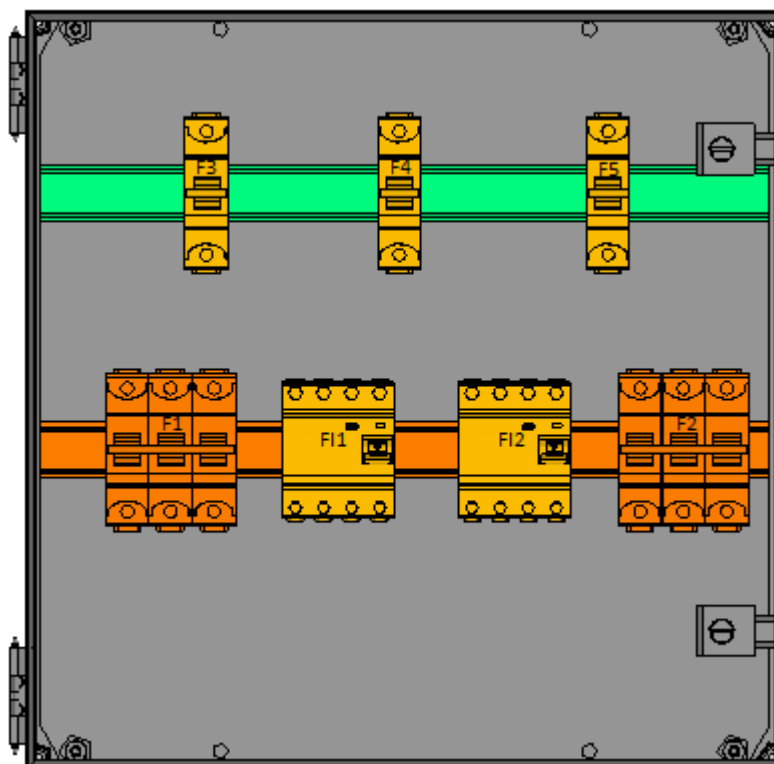
Obrázek 7: Hustota ztrátového výkonu nejnepříznivějšího uspořádání přístrojů



Pokud se projektant rozhodne mezi sebou přístroje rozmístit v závislosti na zabarvení, nedojde k žádné změně zabarvení jednotlivých přístrojů. Z toho plyne, že projektant nepozná, jaké je nejprůběžnější uspořádání přístrojů. EPLAN Pro Panel ve spolupráci s programem Rittal Therm nabízí možnost zobrazení míst, které musí zůstat neosazeny, aby v rozváděči byla zajištěna přirozená cirkulace vzduchu. Zobrazí místa, kde jsou podmínky chlazení dostačující nebo nedostačující a v závislosti na tom poskytuje řešení ve formě doporučeného aktivního

chlazení, ale nezohledňuje možnost zlepšení poměrů v rozváděči v závislosti na změně uspořádání přístrojů. Obrázek 8 demonstruje záměrně přehnané rozmístění přístrojů, kvůli znázornění jejich neměnnosti zabarvení.

Obrázek 8: Změna uspořádání přístrojů v rozváděči



6.1.3 Simulace oteplení v Rittal Therm

Jak už bylo zmíněno výše Rittal Therm úzce spolupracuje s programem EPLAN. Po zapnutí programu, který funguje ve formě internetového prohlížeče se objevila nabídka okamžitého startu:

- výpočet chlazení rozváděčů,
- chlazení strojů a procesů,
- údržba projektů,
- doplňující informace
- uživatelský manuál.


Postup byl následující:

1. Z nabídky byl zvolen výpočet chlazení rozváděčů.
2. Na další stránce byl založen nový projekt.
3. V následujícím okně bylo možné vyplnit název projektu a firmy, kontaktní osobu, výrobce. Dále v programu byla nastavena maximální vnitřní, vnější teplota, napětí a frekvence:
 - $\vartheta_{MAX\ vnitřní} = 65\ ^\circ\text{C}$,


- $\vartheta_{MAX\text{ vnější.}} = 50\text{ °C}$,
- $U_n = 230\text{ V}$,
- $f = 50\text{ Hz}$.


V dalším okně byly nastaveny rozměry rozváděče, viz. obrázek 9.


Obrázek 9: Zadání rozměrů rozváděče v Rittal Therm


 **Změňte rozváděč**


SO Speciální rozměry	Šířka 500 mm	Výška 500 mm	Hloubka 210 mm
SO 9999.999 0 x 0 x 0 mm	Součinitel prostupu tepla "k" 5.5	Otvory pro přívod vzduchu 0 cm ²	Horizontální dělicí stěny Bez dělicí stěny


☒ 
 (1)
 Samostatný rozváděč volně stojící


☐ 
 (3)
 Počáteční nebo koncový rozváděč volně stojící



☐ 
 (5)
 Vnitřní střední rozváděč volně stojící

☐ 
 (2)
 Samostatný rozváděč pro montáž na stěnu

☐ 
 (4)
 Počáteční nebo koncový rozváděč pro montáž na stěnu

☐ 
 (6)
 Vnitřní střední rozváděč pro montáž na stěnu

☐ 
 (7)
 Vnitřní střední rozváděč pro montáž na stěnu se zakrytou střechou

 Uložit rozváděč
 Ukončit

- Byl zadán ztrátový výkon vypočítaný v programu EPLAN Pro Panel ($P_Z = 31,74\text{ W}$).
- Následovala stránka Výpočet (obrázek 10). Na této stránce byl spočítán efektivní povrch, instalovaný ztrátový výkon, ztrátový výkon odevzdávaný povrchovou cestou, celkový ztrátový výkon a teplota uvnitř rozváděče bez chlazení. Drobnou nepřesnost zde tvoří fakt, že nelze zadat ztrátový výkon s desetinnými hodnotami.

Teplota bez chlazení uvnitř rozváděče byla rovna 57 °C , což bylo méně než zadaná maximální vnitřní teplota rozváděče (65 °C).

Obrázek 10: Výpočet teploty uvnitř rozváděče

Výpočet

Detail & výběr zařízení

Číslo výrobku

Poloha

Akce

SO 9999.999

1

Parametry

Efektivní povrch

0,8 m²

Instalovaný ztrátový výkon

32 W

Celkový ztrátový výkon

-33 W

Ztrátový výkon odevzdávaný povrchovou plochou:

65 W

Teplota bez chlazení:

57 °C

Typ chladicí jednotky

Nástěnná

Sřešní

+ Ventilátor

+ Výměník vzduch/vzduch

+ Chladicí jednotka

+ Výměník vzduch/voda

+ Topení

+ Chladicí dveře

Vnitřní ventilátor

Za samostatně provedený výpočet, projektování, dimenzování a výběr nemůže firma Rittal převzít žádnou záruku.

Max. vnější teplota:

50

°C

Napětí:

230

☐ včetně 230 V

Max. vnitřní teplota:

65

°C

Frekvence:

50

Standardní instalace

6. Poslední stránka vyjadřovala shrnutí provedeného výpočtu. Byly zde uvedeny kontaktní údaje na osobu provádějící práci, rozměry skříně, parametry rozváděče, ztrátový výkon, tepelná výměna povrchovou plochou, odváděný výkon atd. Výsledkem bylo, že navržený rozváděč nepotřeboval přídatné chlazení.

Obrázek 11: Shrnutí Rittal Therm

Shrnutí

Projekt:

DP

Firma:

NN

Kontaktní osoba:

Zdeněk Kovář

Výrobce:

NN

Telefon / Fax:

NN

Parametry okolního prostředí

Maximální teplota vně rozváděče Ta:

50 °C

Maximální teplota uvnitř rozváděče Ti:

65 °C

Síťové napětí:

230 V

Frekvence:

50 Hz

Výpočet chlazení

Prvek rozváděče č. 1

SO 9999.999

Šířka x Výška x Hloubka

500 x 500 x 210 mm

Součinitel prostupu tepla "k" rozváděče

5,5

Typ instalace/montáže

Samostatný rozváděč volně stojící

Střední teplota rozváděče bez chlazení

57 °C

Chladicí jednotka je nutná

Ne

Je nezbytné chlazení

Ne

32 W

1 x Přidání

Ztrátový výkon

32 W

Tepelná výměna povrchovou plochou

65 W

Odváděný výkon

-33 W

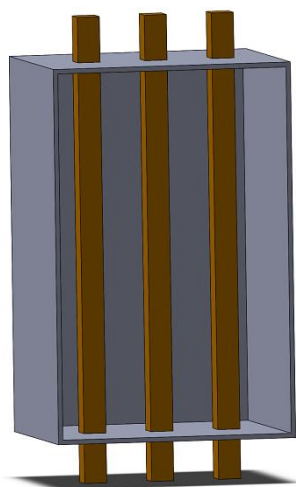
6.2 Simulace oteplení v SolidWorks Flow Simulation

Z důvodů nedostatečných funkcí programu EPLAN Pro Panel popsaných v předchozí kapitole byl k simulaci oteplení rozváděče vybrán program SolidWorks. SolidWorks byl vybrán i z důvodu možnosti sestavení a simulace modelu rozváděče v jednom pracovním prostředí. Zásadní výhodou tohoto faktu je, že model se po vytvoření nemusí importovat do simulačního programu, a tudíž nevznikají chyby způsobené importem.

6.2.1 Tvorba modelu v SolidWorks

Sestavený model svými rozměry a uspořádáním přístrojů odpovídá měřenému rozváděči. Rozměry skříně byly měřeny metrem, rozměry přístrojů a jejich parametry byly vyhledány v katalogu výrobce. Jednotlivé přístroje byly modelovány zjednodušenou formou boxu, ve kterém byl podle typu přístroje různý počet proudovodných drah. Proudovodné dráhy byly modelovány formou měděných destiček (obrázek 12). Během práce byly jednotlivé přístroje, a dokonce i celý model několikrát změněn a dále zjednodušován kvůli náročnosti pozdější simulace na výpočetní techniku.

Obrázek 12: Model třífázového jističe



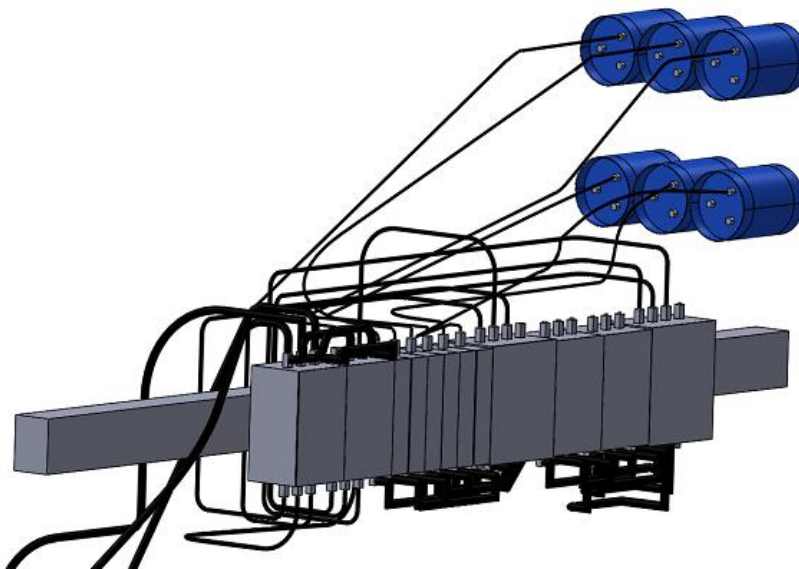
Po sestavení základních částí modelu byly namodelovány vodiče podle schématu zapojení (viz obrázek 1), aby model co nejvíce odpovídal reálnému rozváděči. Sestavené vodiče měly stejný průřez a přibližně stejnou délku jako reálné vodiče rozváděče. Modelování vodičů v 3D bylo velmi problematické, protože neexistuje funkce na kontrolu křížení vodičů během modelování, a navíc s přibývajícím počtem vodičů docházelo k rapidnímu snížení výkonu, a tudíž i k zpomalení výpočetní techniky.

Modelování vodičů probíhalo přes funkci Skica → Načrtnout skicu → Načrtnout 3D skicu. Před tím byly na konce proudovodných drah přístrojů

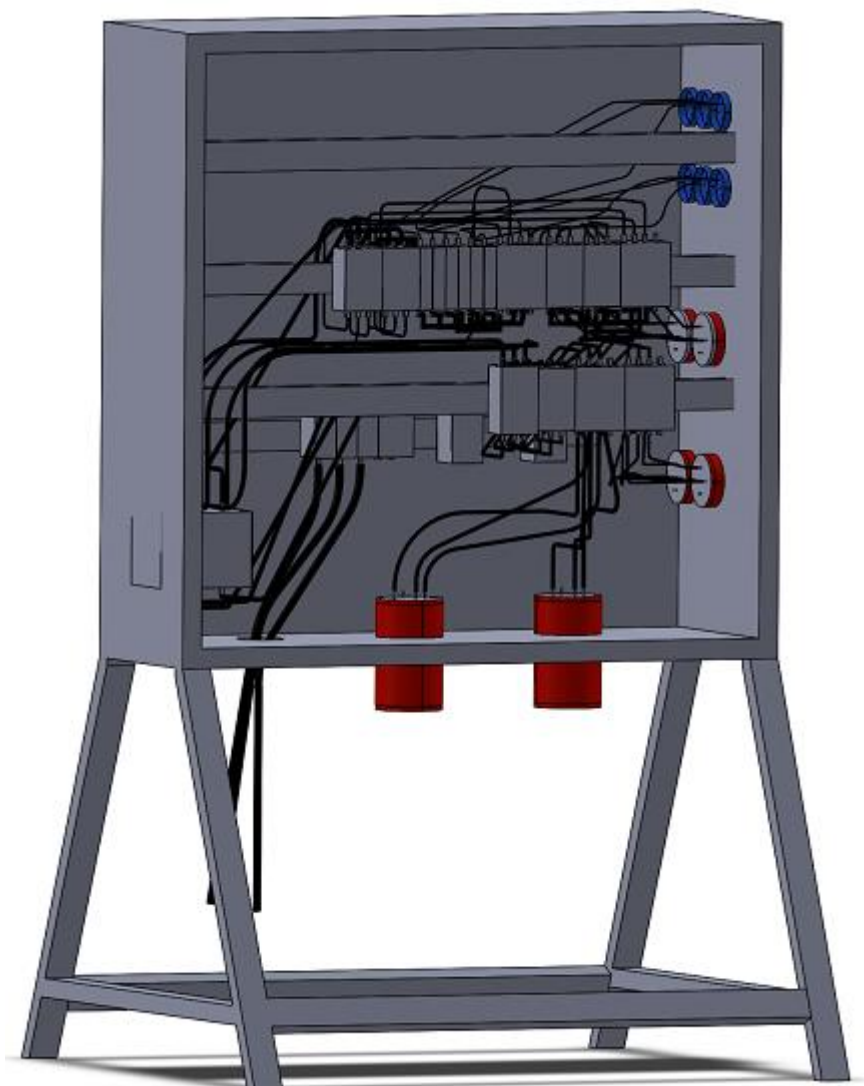
namodelovaly malé válečky o průřezech odpovídajících reálným vodičům.

Následně byla “připnuta” načrtnutá 3D skica k vytvořeným válečkům. V dalším kroku byla vytvořena nová 2D skica na válečkách a převedla se entita. Posledním krokem bylo “vytažení” vodiče funkcí Přidání tažení pro křivce. Vytvořený vodič převzal průřez válečků na konci proudovodných drah.

Obrázek 13: Detailní záběr vodičů



Obrázek 14: Model rozváděče v SolidWorks



6.2.2 Simulace oteplení modelu v SolidWorks Flow Simulation

Simulace modelu rozváděče probíhala v pracovním prostředí SolidWorks Flow Simulation, který je jeden z mnoha doplňků základního softwaru. Tato nadstavba dokáže simulovat proudění tekutin, rozložení rychlosti, tlaku, oteplení atd.

Nastavení simulace

Založení nového projektu a nastavení základních podmínek bylo provedeno přes funkci Wizard.

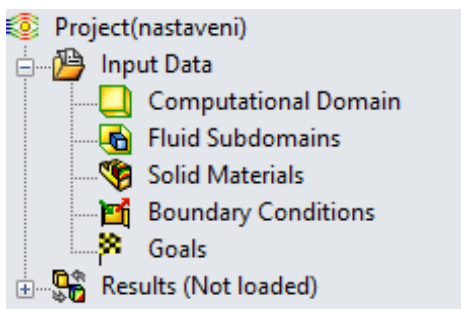
1. V prvním okně funkce wizard bylo možné zadat název projektu, komentář i vlastní konfiguraci projektu. Při nastavování byla ponechána výchozí konfigurace.
2. Na další stránce byla vybrána metrická soustava SI, podle které byly v projektu zobrazeny hodnoty.
3. V dalším kroku se určil typ analýzy (interní nebo externí). Byl vybrán externí typ analýzy zohledňující vedení tepla v pevných látkách a gravitaci.
4. V následujícím okně byl definován vzduch jako látka okolního prostředí.
5. Jako materiál pevných látek byl předdefinován laminát FR4.
6. Předposlední krok nabídl zadání hodnot tlaku, teploty, turbulentní hodnoty prostředí atd. Byla změněna pouze teplota prostředí na hodnotu 22 °C.
7. V posledním okně byla nastavena velikost elementů sítě výpočtu. Čím více elementů výpočtová síť má, tím přesnější a delší výpočet proběhne. Z tohoto důvodu byla velikost elementů sítě nastavena na hodnotu 4.

Tabulka 29: Základní nastavení projektu

Unit system	SI Temperature [°C]
Analysis type	External
Physical Features	Heat conduction in solids Gravity
Default Fluid	Air
Default Solid	Laminates FR4
Initial and Ambient Conditions	Temperature 22 °C Pressure 101 325 Pa
Results and Geometry Resolution	Result resolution 4

Vytvořený projekt se zobrazil na levé straně pracovního prostředí. Základní strukturu projektu demonstruje obrázek 15.

Obrázek 15: Základní struktura projektu



Definice materiálů

Nastavení materiálů jednotlivých částí modelu proběhlo přes funkci Solid Materials. Měď byla přiřazena k vodičům a proudovodným drahám přístrojů. Pro kryty přístrojů byl přiřazen laminát FR4. Samotná definice materiálů k jednotlivým částem modelu neměla na výpočet simulace zásadní vliv. Pouze v případě nastavování Electrical Conditions bylo nutné mít definovanou měď v částech modelu, kterými byl veden proud.

Důležitým krokem pro simulaci oteplení bylo nastavení správné emisivity pro jednotlivé přístroje. Výrobce přístrojů tento údaj neudal. Kryty přístrojů byly sice nadefinovány jako laminát FR4, ale jejich přesný materiál nebyl známý. Proto k zjištění emisivity všech přístrojů posloužily snímky z termokamery (obrázek 16). Program Satlr Wizard umožňuje zobrazit teplotu a emisivitu jednotlivých přístrojů z fotek pořízených termokamerou. Postup získání emisivity spočívá v tom, že laděním emisivity přístroje v programu se snažíme docílit rovnosti teploty naměřené a teploty ve vyhodnocovacím programu termokamery. Tímto způsobem byla určena emisivita přístrojů, ručního pákového vypínače a svorkovnice. Zjištěné hodnoty emisivity byly nadefinovány v programu SolidWorks Flow Simulation jako parametr nového materiálu. Nastavené hodnoty emisivity pro jednotlivé přístroje zobrazuje následující tabulka.

Tabulka 30: Nastavená emisivita

Materiál	Emisivita
	ε [-]
Měď	0,93
Plast ABL	0,72
Plast OEZ	0,77
Plast svorkovnice	0,50
Plast hand switch	0,57

Nastavení okrajových podmínek bylo možné v záložce Boundary Conditions. Pro všechny části modelu byla nastavena podmínka Real Wall. Stěžejním parametrem této podmínky byl součinitel přestupu tepla α , který byl pro jednotlivé materiály nastaven dle tabulky 31.

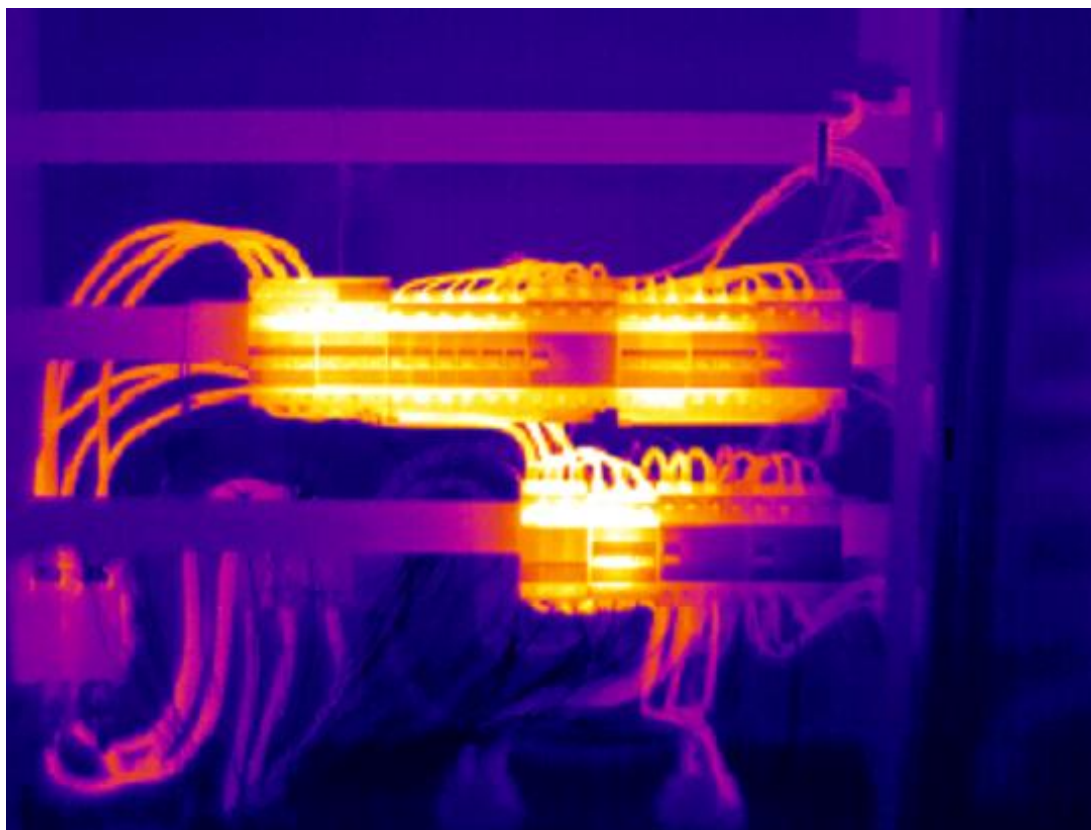
Tabulka 31: Nastavení α jednotlivých přístrojů

Materiál	Součinitel přestupu tepla
	α [W/m ² /K]
Měď	8,5
Plast ABL	7,0
Plast OEZ	7,4
Plast svorkovnice	4,0
Plast hand switch	4,9

Přístroje v modelu rozváděče se od reálných přístrojů liší konstrukcí, tudíž i způsobem sdílení tepla. V přístrojích namodelovaných je sdílení tepla mezi látkami primárně zprostředkováno prouděním, kdežto u reálných to je vedením. Z tohoto důvodu se mohly lišit zadané hodnoty α od reálných hodnot.

Hodnoty α byly zjištěny simulacemi oteplení jednotlivých přístrojů, kdy součinitel pro jednotlivé přístroje byl neustále upravován, dokud oteplení nedosáhlo reálných hodnot.

Obrázek 16: Zobrazení oteplení přístrojů termokamerou



Zdroj tepla byl zadáván do proudovodných drah přístrojů přes funkci Volume Source. Funkce Volume Source nabízí dva základní zdroje tepla, buď přes ztrátový

výkon nebo teplotu. Ztrátový výkon byl zadáván do všech přístrojů, které nebyly v rámci měření měřeny (F1, FA1, FA2, FA3, FA4, FA5, FA7). Velikost ztrátového výkonu udává výrobce a nabývá hodnotu pro přístroje ABL $P_z = 2,1 \text{ W/pól}$. Do ostatních přístrojů, které byly v rámci měření měřeny, byla zadávána naměřená teplota z terminálů přístrojů. Ať už byl zdroj tepla zadáván přes ztrátový výkon nebo teplotu, musely přístroje nabývat reálných teplot a muselo docházet ke sdílení tepla s okolím.

V přírodních kabelech, svorkovnici a v pákovém ručním vypínači byl zdroj tepla ve formě nastaveného proudu zadán přes funkci Electrical Conditions. Velikost nastaveného proudu pro každou fázi byla 79,5 A.

Kvůli vysoké hardwarové náročnosti modelu na výpočetní techniku byly z modelu odstraněny všechny vodiče kromě přírodních kabelů. Vlivem tohoto kroku se výpočet simulace oteplení výrazně urychlil (z 59 dnů na 3 dny). Pro výsledky a vyhodnocení simulace odstraněné vodiče neměly zásadní vliv, důležité bylo, aby byly zachovány přírodní kabely kvůli pozdější inovaci rozváděče.

Po nastavení podmínek, byla simulace spuštěna přes funkci Run a následně se zobrazilo okno výpočtu. Výsledky byly zobrazeny přes funkci Results.

6.2.3 Vyhodnocení výsledků simulace oteplení

Obrázek 17 demonstruje výsledky simulace oteplení. Detailnější záběr znázorňuje obrázek 18, kde je možné vidět i odváděné teplo z přístrojů do okolního prostředí. Výsledky simulace oteplení odpovídají výsledkům získaným z měření.

Nejvyšší teploty dosáhl kryt třífázového jističe F4, který nabýval hodnoty 39 °C. Bylo to způsobeno primárně přiváděným teplem z jističe F3 a horším odvodem tepla z bočních stran vlivem uspořádání přístroje mezi jistič F3 a proudový chránič FI9-10. Z tohoto důvodu byl přístroj nejvíce chlazen z horní, spodní a zadní strany.

Kryt jističe F3 nedosahoval takové teploty jako F4 z důvodu lepších materiálních vlastností krytu α , ϵ a vhodnějšího uspořádání, boční strana jističe byla zcela odkryta a chlazená přirozenou cirkulací vzduchu.

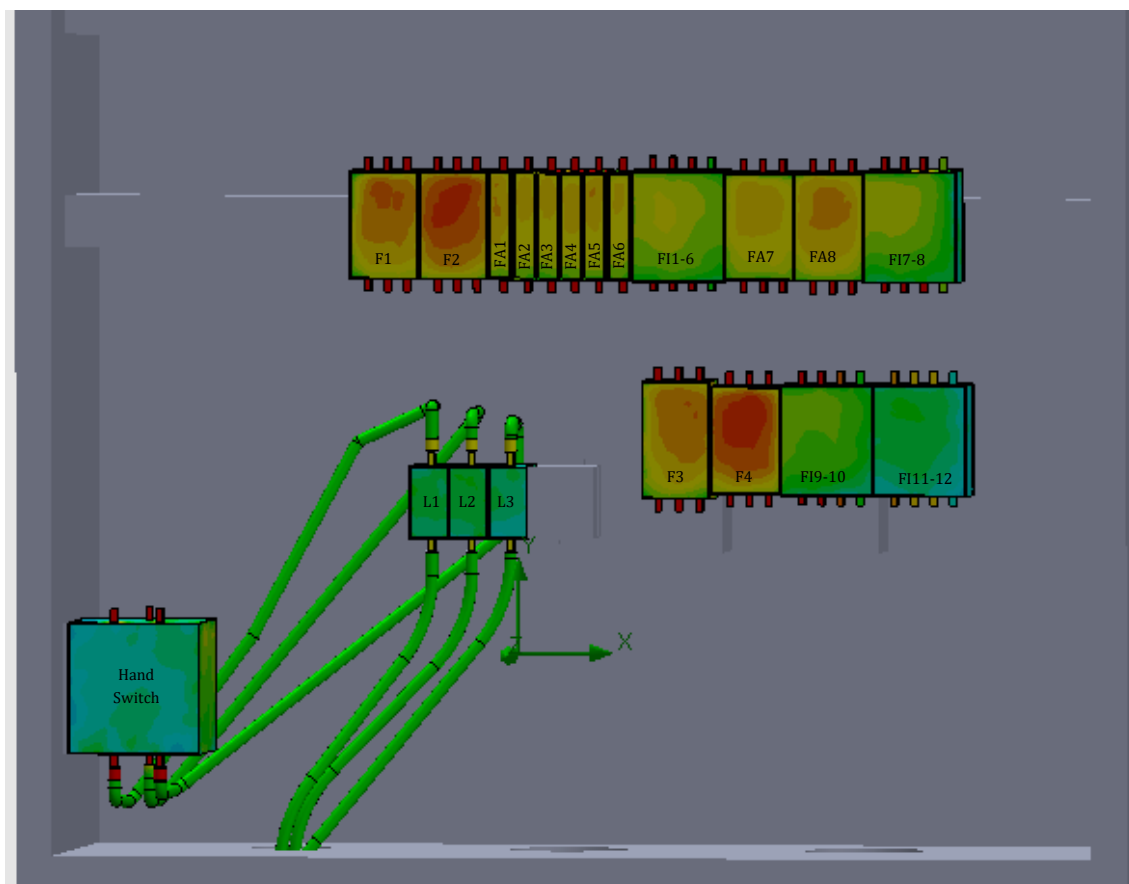
V horní řadě nabýval nejvyšších teplot kryt jističe F2 (38 °C), jenž byl ohříván sousedními jističi F1 a FA1. Kryt přístroje F1 dosahoval menších hodnot než F2 ze stejných důvodů, jako tomu bylo u jističe F3.

Nejvíce zahřátým krytem u jednofázových jističů byl kryt přístroje FA1 vlivem interakce s F2, kdy teplo bylo primárně předáváno vedením z krytu jističe F2 do FA1.

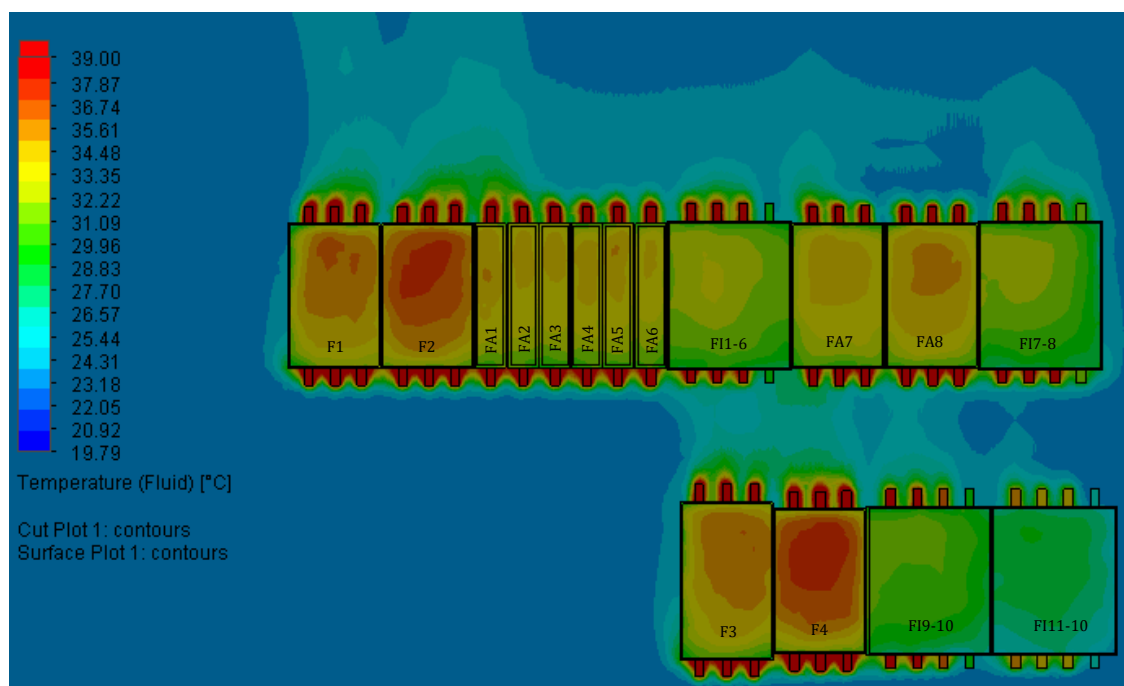
Z proudových chráničů měl kryt nejvíce ohřátý chránič FI1-6. Bylo to zapříčiněno vzájemným působením přístrojů FA6 a FA7. Z výsledků simulace je

možné vidět, že svorkovnice, kabely i pákový ruční vypínač jsou značně naddimenzovány, protože jejich teplota nepřekročila hodnotu 32 °C.

Obrázek 17: Výsledky simulace oteplení



Obrázek 18: Detailní záběr výsledků simulace oteplení pro jednotlivé přístroje



7 ÚPRAVY ROZVÁDĚČE S OHLEDEM NA TECHNICKÉ PARAMETRY A EKONOMICKÁ HLEDISKA

Jak už bylo zmíněno v kapitole 5.4., výrobce udává jmenovitý proud rozváděče $I_n = 250$ A. Podle normy by měl být průřez pro takovou velikost proudu roven 120 mm^2 . Nicméně reálný maximální proud, který může rozváděč odebírat nabývá hodnoty $I_n = 79,5$ A. Podle normy lze pro takovou velikost proudu zvolit dokonce průřez o velikosti 25 mm^2 . Kabele tohoto průřezu by se mohly použít pro přívod, ale i na propojení svorkovnice a ručního pákového vypínače. Teplota kabelů o průřezu 25 mm^2 vyšla podle simulace cca 37°C (obrázek 19).

Jednožilový kabel o průřezu 120 mm^2 a délce jednoho metru průměrně stojí včetně DPH 312 Kč. Pro přívodní napájení rozváděče jsou potřeba 4 kabely (1248 Kč/m).

Naproti tomu jednožilový kabel o průřezu 25 mm^2 a délce jednoho metru stojí průměrně včetně DPH 43 Kč. Celková cena přívodních kabelů je tedy 172 Kč/m. Už jen na přívodních kabelech je možné uspořít 1076 Kč/m.

Propojení svorkovnice s pákovým ručním vypínačem je provedeno kabely o průřezu 70 mm^2 . Průměrná cena takového metrového kabelu je 205 Kč včetně DPH. Zde se dá uspořít 648 Kč/m. Celkově je možné na přívodních kabelech a kabelech propojující svorkovnici a hand switch ušetřit **1724 Kč/m**.

Tabulka 32: Přehled cen kabelů dle průřezu

Průřez kabelu dle výrobce	Cena původního kabelu včetně DPH	Navrhovaný průřez kabelu	Cena navrhovaného kabelu včetně DPH	Rozdílová cena/m
$1 \times 120 \text{ mm}^2$	312 Kč/m	$1 \times 25 \text{ mm}^2$	43 Kč/m	269 Kč
$1 \times 70 \text{ mm}^2$	205 Kč/m	$1 \times 25 \text{ mm}^2$	43 Kč/m	162 Kč
Celkově uspořena částka				431 Kč

Úprava svorkovnice

Po výměně kabelů je v rámci ekonomické úspory možné změnit i svorkovnici, která je dělaná primárně pro kabely vyšších průřezů. Stávající svorkovnice je i z hlediska oteplení naddimenzovaná. Na svorkovnici bylo naměřeno oteplení 8,5 K, kdežto norma dovoluje oteplení až 70 K. Cena jedné dosavadní svorky pro přívodní kabel činí cca 310 Kč včetně DPH. Svorka pro PEN vodič stojí cca 690 Kč.

Jednopolovou svorku do průřezu kabelů 25 mm² nabízí firma SCHRACK za 61 Kč včetně DPH. Za stejnou cenu nabízí SCHRACK i PEN svorku. Na svorkách je možné uspořít 1376 Kč.

Tabulka 33: Přehled cen stávajících a navržených svorek

Stávající svorka rozváděče	Cena původní svorky	Navrhovaná svorka	Cena navrhované svorky	Rozdílová cena
Fázová	3·310 Kč	SCHRACK	3·61 Kč	747 Kč
PEN	690 Kč	SCHRACK	61 Kč	629 Kč
Celkově uspořena částka				1376 Kč

7.1 Úprava rozváděče s ohledem na technické parametry

Stavební rozváděče bývají často provozovány v těžkých pracovních podmínkách, vlivem kterých může dojít k rychlejší degradaci materiálů a následně k poruše, proto je potřeba jistit přívod stavebního rozváděče proti přetížení a zkratu. Na vstup rozváděče je navrhnout třífázový jistič od firmy OEZ LTN-80 B-2, který nahradí svorkovnici. Protože je jističem LTN-80 B-2 jištěno vedení rozváděče proti přetížení a zkratu, mohou se odstranit dva třífázové jističe na horní liště F1 a F2, jejichž úlohu převezme právě tento jistič.

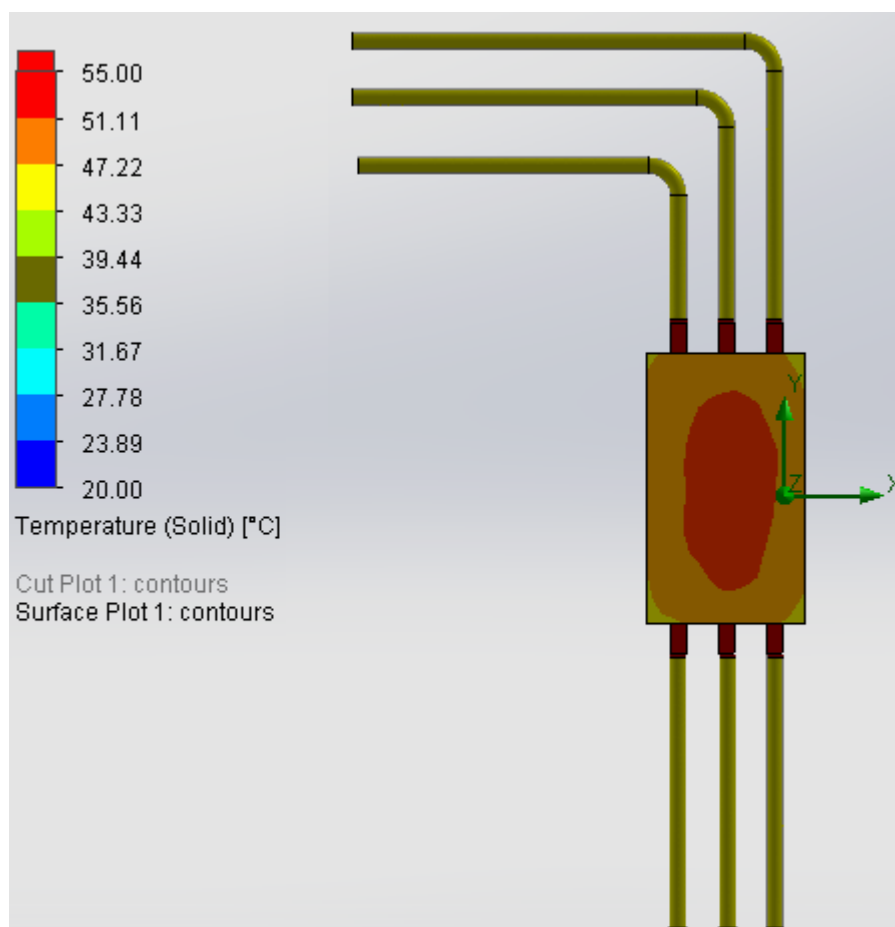
Navržený jistič je navržen pro jmenovitý proud maximální hodnoty 80 A. Z tohoto důvodu může oteplení přístroje překročit povolenou mez oteplení. Proto musí být jistič podroben simulaci oteplení (obrázek 19). Hodnoty získané ze simulace jsou pouze orientační a maximální teplota jističe vyšla cca 55 °C, což je méně, než se předpokládalo. Je to zřejmě způsobeno tím, že je jistič umístěn na lištu samostatně, není obklopen a tepelně ovlivňován sousedními přístroji, a tudíž je teplo odváděno z jističe ze všech stran. Dalším faktorem, který může mít vliv na celkovou teplotu jističe, jsou rozměry a tvar proudovodné dráhy, přítláčná síla mezi vodičem a terminálem. Tvar proudovodné dráhy a přítláčná síla nejsou v simulaci zohledněny, protože se jedná o údaje, které nejsou v katalogu výrobce běžně udávány.

Pro simulaci byly zadány hodnoty uvedené v tabulce 34. Pro zjištění přesných hodnot oteplení jističe by bylo potřeba provést měření.

Tabulka 34: Nastavené hodnoty pro simulaci jističe LTN-80 B-2 OEZ

OEZ LTN-80 B-2	Emisivita	Součinitel přestupu tepla	Ztrátový výkon na pól
	ε [-]	α [W/m ² /K]	P_Z [W]
Kryt OEZ	0,77	7,4	6,4
Proudovodná dráha	0,93	8,5	

Obrázek 19: Simulace oteplení jističe LTN-80 B-2 s vodiči o průřezu 25 mm²



Ve stavebním rozváděči je naddimenzován i pákový ruční vypínač, jehož nejteplejší terminál nabýval oteplení 16,3 K. Ruční pákový vypínač lze v rozváděči nahradit vhodnou kombinací jističe LTN-80 B-2 s podpěťovou ochranou a rozpínacího tlačítka zapojeného k podpěťové ochraně sériově. Jako podpěťová ochrana byla vybrána SP-LT-A 230 od firmy OEZ.

Tabulka 35 znázorňuje cenové porovnání mezi stávajícími a navrženými přístroji. Ceny jsou udávány včetně DPH.

Tabulka 35: Přehled cen stávajících a navržených zařízení

Stávající zařízení	Cena stávajícího Zařízení	Navržené zařízení	Cena navrženého zařízení
ABL 40 T3	1034 Kč	OEZ LTN - 80 B-2	2491 Kč
Svorkovnice	1620 Kč		
Hand switch MOD T 250	3819 Kč	SP-LT-A 230	661 Kč
		Tlačítko rozpínací	120 Kč
Celková cena stávajících zařízení	6473 Kč	Celková cena navrženého zařízení	3272 Kč
Uspořená částka			3201 Kč

Nahrazení ručního pákového vypínače se svorkami kombinací třífázového jističe OEZ LTN - 80 B-2, podpěťové ochrany SP-LT-A 230 a rozpínacího tlačítka je možné uspořit 3201 Kč.

8 ZÁVĚR

Diplomová práce shrnuje problematikou zkoušení a návrhu rozváděčů nn a je rozdělena na pět hlavních částí: zpracování normy, průzkum používaných softwarů v praxi pro návrh rozváděčů, ověření oteplení konkrétního rozváděče měřením, simulace oteplení rozváděče ve vybraných softwarech a inovace konkrétního rozváděče s ohledem na ekonomická hlediska a technické parametry.

V první části je práce věnována zpracování normy ČSN EN 61439-1. Nejprve byly popsány základní pojmy a základní parametry. Následně se práce zabývá ověřováním návrhu rozváděčů, tato kapitola je rozdělena na dvě hlavní části, a to ověřování konstrukce a ověřování funkčních charakteristik rozváděčů nn. Dále jsou uvedeny tři metody zkoušek, které se od sebe liší počtem proveditelných zkoušek a rozsahem využitelnosti výsledků ze zkoušky.

Druhá část práce byla věnována průzkumu používaných softwarů pro návrh rozváděčů v praxi na základě dotazníkového šetření. Z dotazníkového šetření bylo zjištěno, že nejvíce rozšířeným softwarem pro návrh rozváděčů je AutoCAD kvůli jeho univerzálnosti, jednoduchosti a dobré kompatibilitě s ostatními programy. Druhým nejpoužívanějším programem je EPLAN Electric P8, kvůli nastavitelnému přehlednému pracovnímu prostředí a databázi, kterou AutoCAD postrádá. Dotazník se následně zabýval otázkami týkajícími se zkoušek prováděných na rozváděčích. Největší zastoupení měla zkouška zkratové odolnosti ochranného obvodu a zkoušky udávané normou ČSN. Na základě poznatků získaných z dotazníkového šetření se diplomová práce věnovala porovnání softwarů pro návrh rozváděčů. Postupně byly popsány a mezi sebou srovnány softwary: EPLAN Electric P8, Therm – Rittal, SolidWorks, E-Config 3. Všechny uvedené programy jsou kompatibilní s produkty od Microsoft a CAD systémy většinou prostřednictvím datového formátu DXF. Programy se mezi sebou liší nabízenými funkcemi, nástroji, knihovnami, softwarovými požadavky a požadavky na výpočetní techniku.

Třetí část práce byla věnována ověření oteplení konkrétního rozváděče. Před začátkem měření bylo zjištěno, že jmenovitý proud ($I_n = 250 \text{ A}$) udávaný výrobcem je příliš naddimenzovaný. Spočítaný reálný maximální proud, který může rozváděč odebírat při dané soudobosti ($RDF=0,5$) je pouhých $I_n = 79,5 \text{ A}$. Tato informace byla důležitá pro pozdější inovaci. Měření bylo provedeno termočlánky typu K, které byly upevněny na terminály, páky a kryty přístrojů. Měření bylo provedeno ověřování rozváděče se zřetelem na jednotlivé funkční jednotky samostatně a na kompletní rozváděč (kritická varianta funkční jednotky samostatně a ověření kompletního rozváděče). Z výsledků měření lze konstatovat, že žádná měřená část rozváděče nepřesáhla normou stanovenou mez oteplení. Při měření soudobosti nabýval nejvyššího oteplení měřených částí třífázový jistič F4, a to na prostředním horním terminálu $\Delta\theta = 28,4 \text{ K}$, vlivem přiváděného tepla z jističe F3 vodiči o průřezu

10 mm². Už v jističi F3 bylo teplo nejvíce koncentrováno v horní části terminálů a část tohoto tepla byla přenášena do jističe F4. Měřeny byly i svorky a ruční pákový vypínač, jejichž hodnoty oteplení nepřesáhly 16,3 K. Z toho vyplývá, že byly značně naddimenzovány.

Čtvrtá část diplomové práce byla věnována sestavení modelu konkrétního rozváděče a následné simulaci oteplení. Nejprve byl použit software EPLAN Pro Panel, jehož nabízené funkce se ukázaly být nedostatečné pro splnění zadání diplomové práce. Z tohoto důvodu byl vybrán program SolidWorks a jeho rozšíření Flow Simulation. Velkou výhodou byla možnost sestavení modelu a simulace oteplení ve stejném pracovním prostředí, tudíž nemohla vzniknout chyba v důsledku importu. Výsledky simulace oteplení vyšly přibližně stejně jako naměřené hodnoty. Nejvyšších teplot dosahoval kryt přístroje u třífázového jističe F4, který nabýval teploty 39 °C. Bylo to způsobeno primárně přiváděným teplem z jističe F3 a horším odvodem tepla z bočních stran vlivem uspořádání přístroje mezi jistič F3 a proudový chránič FI9-10. Z tohoto důvodu byl přístroj nejvíce chlazen z horní, spodní a zadní strany. V horní řadě nabýval nejvyšších teplot kryt jističe F2 (38 °C), jenž byl ohříván sousedními jističi F1 a FA1.

Poslední část diplomové práce se zabývala inovací rozváděče z hlediska technických parametrů a ekonomického hlediska. Jak už bylo zmíněno, výrobce udával předimenzovanou hodnotu jmenovitého proudu, z tohoto důvodu byly naddimenzovány kabely, svorkovnice i pákový ruční vypínač. Nahrazením původních kabelů o průřezu 120 mm² a 70 mm² kabely o průřezu 25 mm² je možné uspořit až 1724 Kč/m. Nahrazením stávající předražené svorkovnice za svorkovnice od firmy SCHRACK lze uspořit až 1376 Kč. Další možností je nahrazení stávající svorkovnice, pákového ručního vypínače vhodnou kombinací jističe LTN – 80 B–2 a podpět'ové ochrany SP-LT-A 230 s rozpínacím tlačítkem. Tato kombinace nahrazuje funkci jističů F1 a F2, a tudíž mohou být odstraněny. Díky tomu lze uspořit i čas a náklady při sestavování rozváděče. Touto variantou je možné na přístrojích uspořit až 3201 Kč.

LITERATURA

- [1] ČSN EN 61439-1 ed. 2: Rozváděče nízkého napětí – Část 1: Všeobecná ustanovení. 2. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [2] O nás. *EPLAN: efficient engineering* [online]. 2016 [cit. 2016-12-31]. Dostupné z: <http://www.eplan.cz/cz/spolecnost/o-nas/>
- [3] EPLAN Data Portal – novinky. *EPLAN: efficient engineering* [online]. 2016 [cit. 2016-12-31]. Dostupné z: <http://www.eplan.cz/cz/reseni/elektrotechnika/eplan-data-portal/novinky/podrobnosti/article/dalsi-krok-integrace-tepelneho-navrhu-28766>
- [4] EPLAN Smart Wiring: vizualizace postupu pro zapojování rozváděče. *EPLAN efficient engineering* [online]. 2016 [cit. 2016-12-31]. Dostupné z: <http://www.eplan.cz/cz/reseni/navrh-rozvadecu-a-spinacich-skrini/eplan-smart-wiring/>
- [5] Systémové požadavky EPLAN Electric P8. *Efficient engineering* [online]. 2016 [cit. 2016-12-31]. Dostupné z: <http://www.eplan.cz/cz/reseni/elektrotechnika/eplan-electric-p8/systemove-pozadavky/>
- [6] Rittal Czech. *Rittal – The System: Faster – better – everywhere* [online]. 2016 [cit. 2016-12-31]. Dostupné z: http://www.rittal.com/cz-cs/content/cs/unternehmen/rittal_czech/rittal_czech_1.jsp
- [7] Program na výpočet klimatizace rozváděčů: Obsah vytvořené dokumentace. *Rittal The System: Faster – better – everywhere* [online]. [cit. 2016-12-31]. Dostupné z: <http://www.rittal.com/cz-cs/content/cs/support/software/projektieren/therm/The rm.jsp#rt-tab-1>
- [8] Program na výpočet klimatizace rozváděčů: Možnosti softwaru. *Rittal The System: Faster – better – everywhere* [online]. [cit. 2016-12-31]. Dostupné z: <http://www.rittal.com/cz-cs/content/cs/support/software/projektieren/therm/The rm.jsp#rt-tab-1>
- [9] Program na výpočet klimatizace rozváděčů: Systémové požadavky. *Rittal The System: Faster – better – everywhere* [online]. [cit. 2016-12-31]. Dostupné z: <http://www.rittal.com/cz-cs/content/cs/support/software/projektieren/therm/The rm.jsp#rt-tab-1>
- [10] Balíčky 3D CAD řešení. *DASSAULT SYSTEMES: SOLIDWORKS* [online]. 2014 [cit. 2016-12-31]. Dostupné z: <http://www.solidworks.cz/produkty/3d-cad/balicky/>

- [11] Balíčky SOLIDWORKS Simulation. *DASSAULT SYSTEMES: SOLIDWORKS* [online]. 2014 [cit. 2016-12-31]. Dostupné z: <http://www.solidworks.cz/produkty/simulace/balicky/>
- [12] Balíčky pro návrhy elektrických systémů. *DASSAULT SYSTEMES: SOLIDWORKS* [online]. 2014 [cit. 2016-12-31]. Dostupné z: <http://www.solidworks.cz/produkty/navrhy-elektrickych-systemu/balicky/>
- [13] SolidWorks – 3D CAD navrhování. *SolidVision* [online]. [cit. 2016-12-31]. Dostupné z: <http://www.solidvision.cz/solidworks/>
- [14] Nový E-Config 3.0. *PROFIKLUBELEKTROTECHNIKU EATON* [online]. 2014 [cit. 2016-12-31]. Dostupné z: <http://www.profiklubelektrotechniku.cz/novy-e-config-3-0.html>
- [15] E-CONFIG. *EATON* [online]. 2014 [cit. 2016-12-31]. Dostupné z: <http://e-config.moeller.cz/index.php?id=2>
- [16] LOJKÁSEK, J. *Rozváděče nn*. 1. Praha: IN-EL, 1994, Knihnice Elektro.
- [17] HERZIG, Z. *Stanovení oteplení rozváděčů výpočtem*. Praha: IN-EL, 1995. Knihnice Elektro.
- [18] CSIRIK, V. *Rozváděče NN: normalizace, výroba, dimenzování a zkoušení: sborník přednášek*. 2. upr. vyd. Trutnov: H.V.K.L. Propag Team, 1997.
- [19] ČSN EN 61439-4 (357107) *A Rozváděče nízkého napětí. Část 4, Zvláštní požadavky pro staveništní rozváděče (ACS)*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

Symbol	Veličina	Jednotka
α	Součinitel přestupu tepla	[W/m ² K]
ε	Emisivita	[-]
φ	Vlhkost	[%]
ϑ	Teplota	[K]
ϑ_B	Rosný bod	[°C]
$\Delta\vartheta$	Oteplení	[K]
d	Délka	[mm]
F	Síla	[N]
f_n	Jmenovitý kmitočet	[Hz]
h	Výška	[mm]
I_{nA}	Jmenovitý proud rozváděče	[A]
I_{nc}	Jmenovitý proud obvodu	[A]
I_{pk}	Jmenovitý dynamický proud	[A]
I_{cw}	Jmenovitý krátkodobý výdržný proud	[A]
I_{cc}	Jmenovitý podmíněný zkratový proud rozváděče	[A]
M	Moment	[N m]
U_n	Jmenovité napětí	[V]
U_e	Jmenovité pracovní napětí	[V]
U_i	Jmenovité izolační napětí	[V]
U_{imp}	Jmenovité impulsní výdržné napětí	[V]
$P_{okolí}$	Tlak okolí	[hPa]
P_Z	Ztrátový výkon	[P]
w	Šířka	[mm]

Zkratka	Název
CTI	Odolnost proti plazivým proudům
DBS	Systém distribučních přípojníc
RDF	Součinitel soudobosti
SPD	Svodič přepětí
SCPD	Zařízení jistící před zkratem

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A: Grafické závislosti kritické varianty funkčních jednotek samostatně.

Příloha B: Grafické závislosti při měření soudobosti.

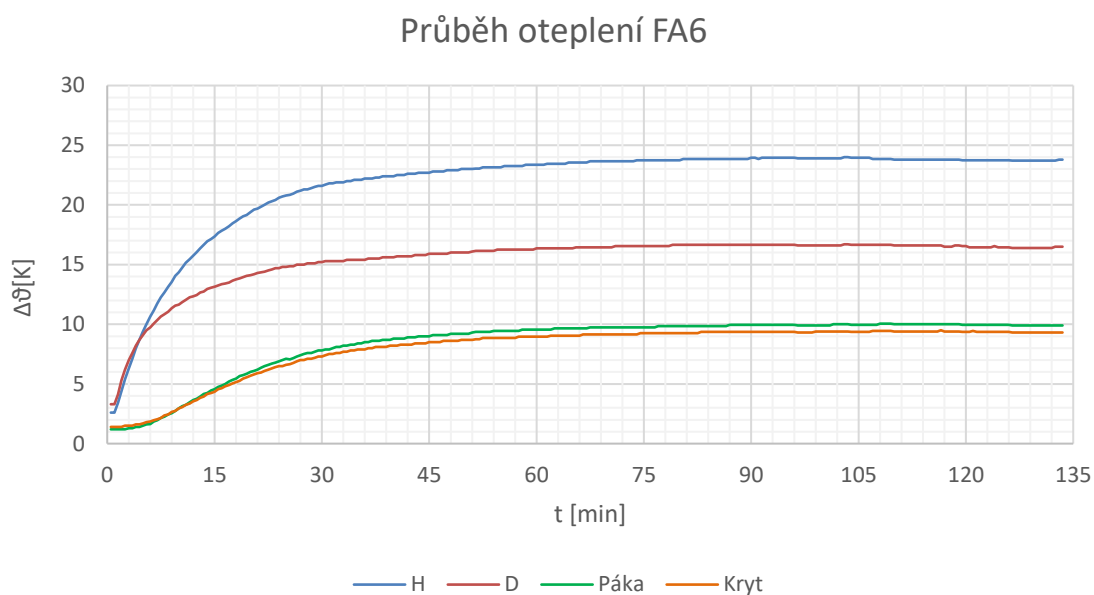
Příloha C: Snímky oteplení jednotlivých zařízení pořízené termokamerou.

PŘÍLOHY

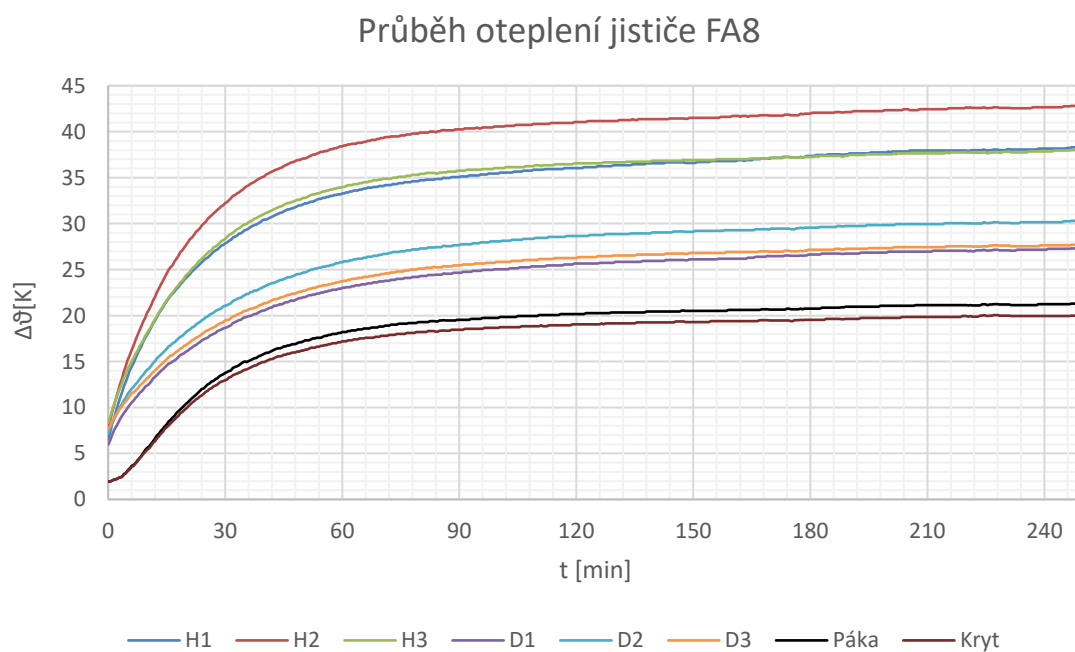
Příloha A

Grafické závislosti kritické varianty funkčních jednotek samostatně.

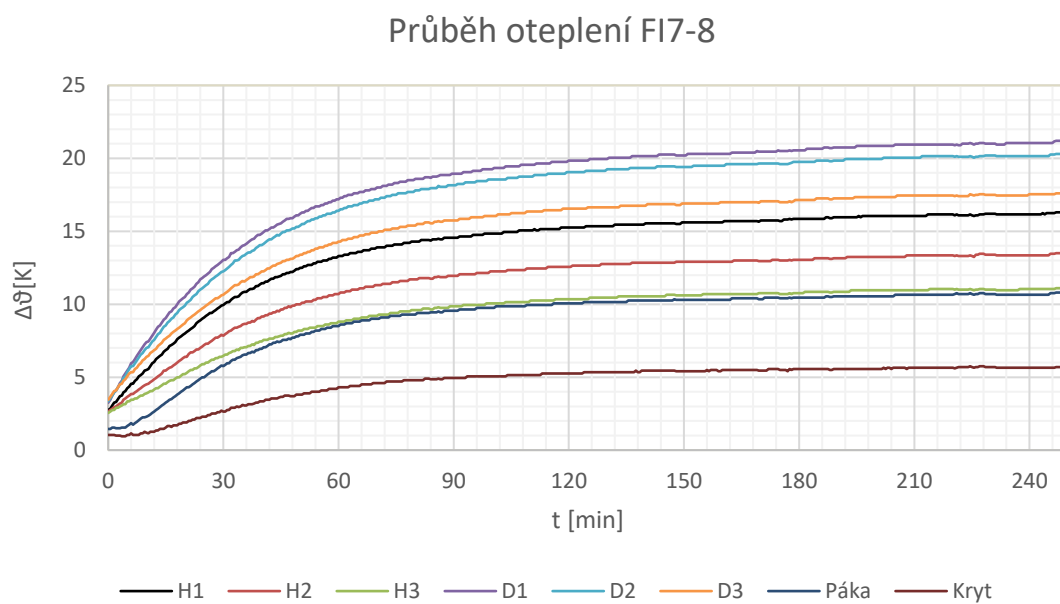
Graf 1: Průběh oteplení jednofázového jističe FA6



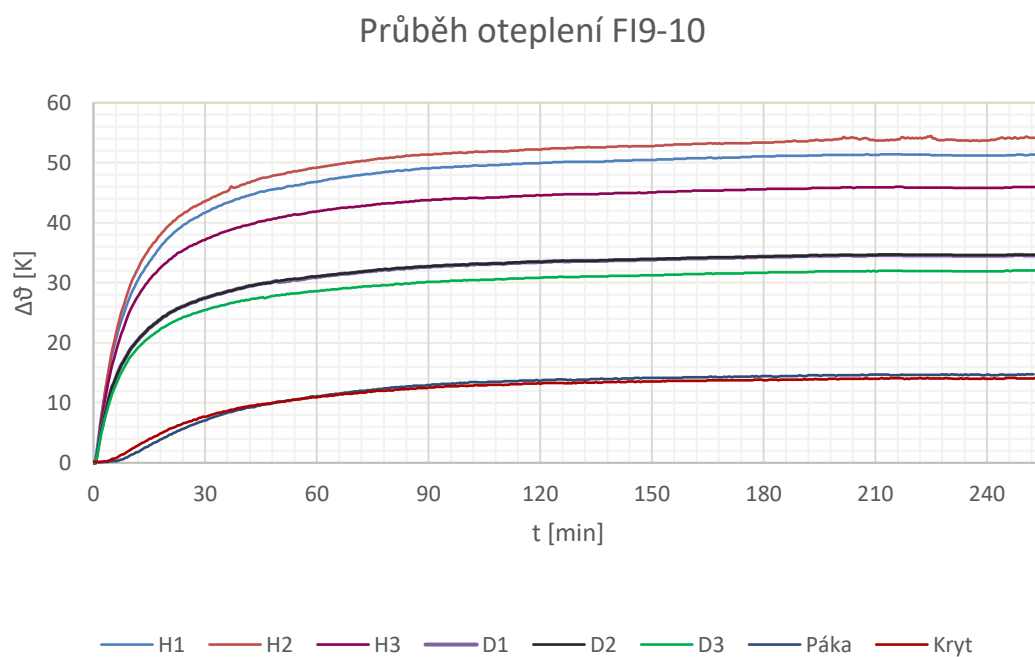
Graf 2: Průběh oteplení třífázového jističe F8



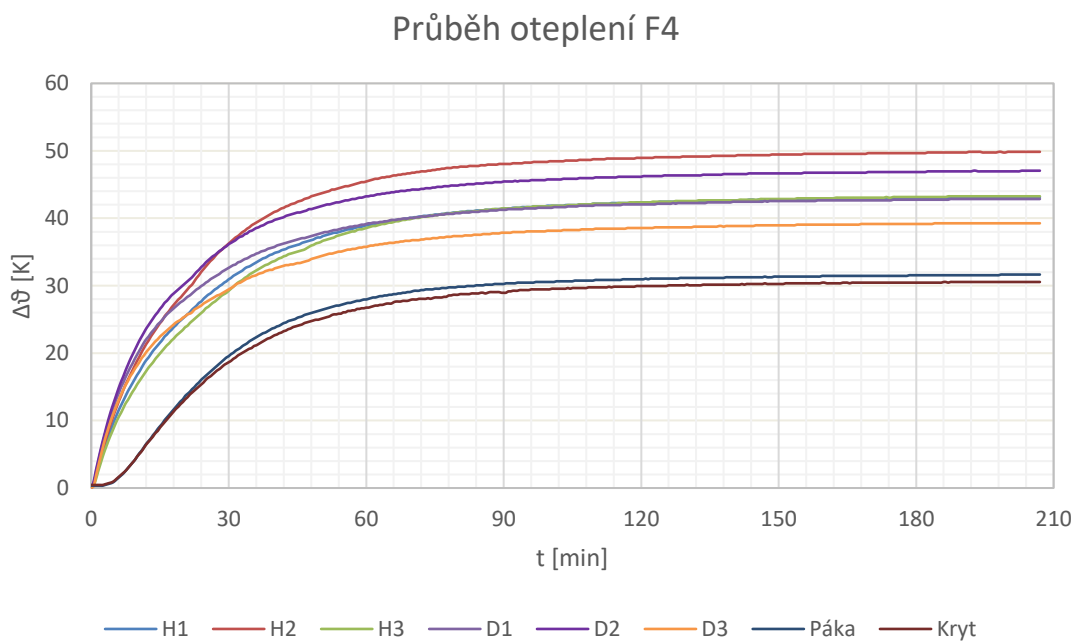
Graf 3: Průběh oteplení proudového chrániče FI7-8



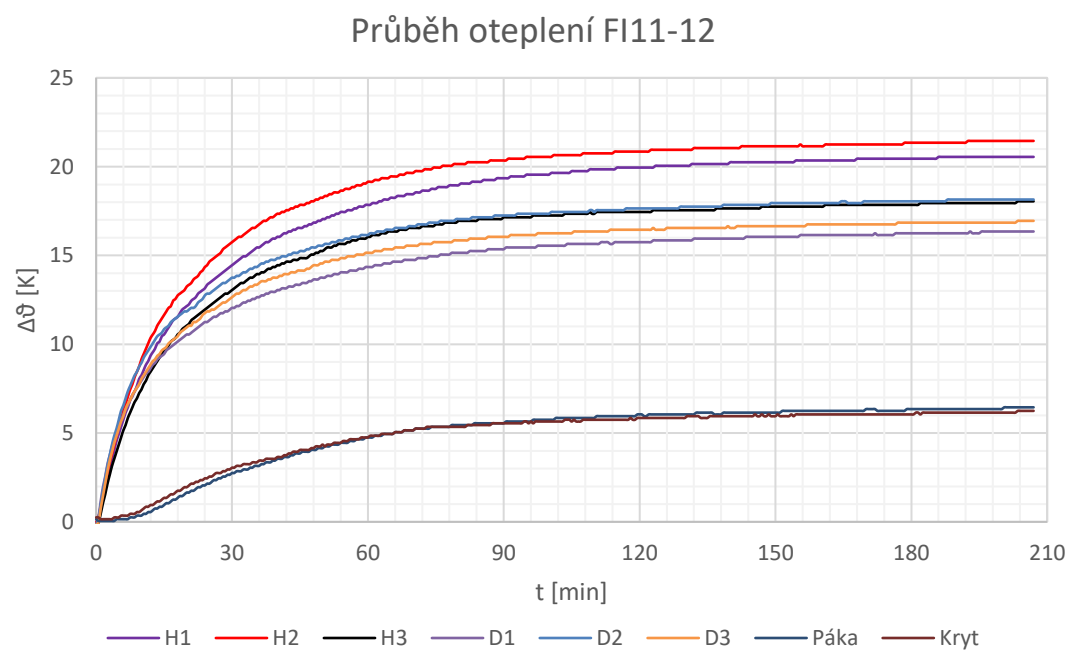
Graf 4: Průběh oteplení proudového chrániče FI9-10



Graf 5: Průběh oteplení třífázového jističe F4



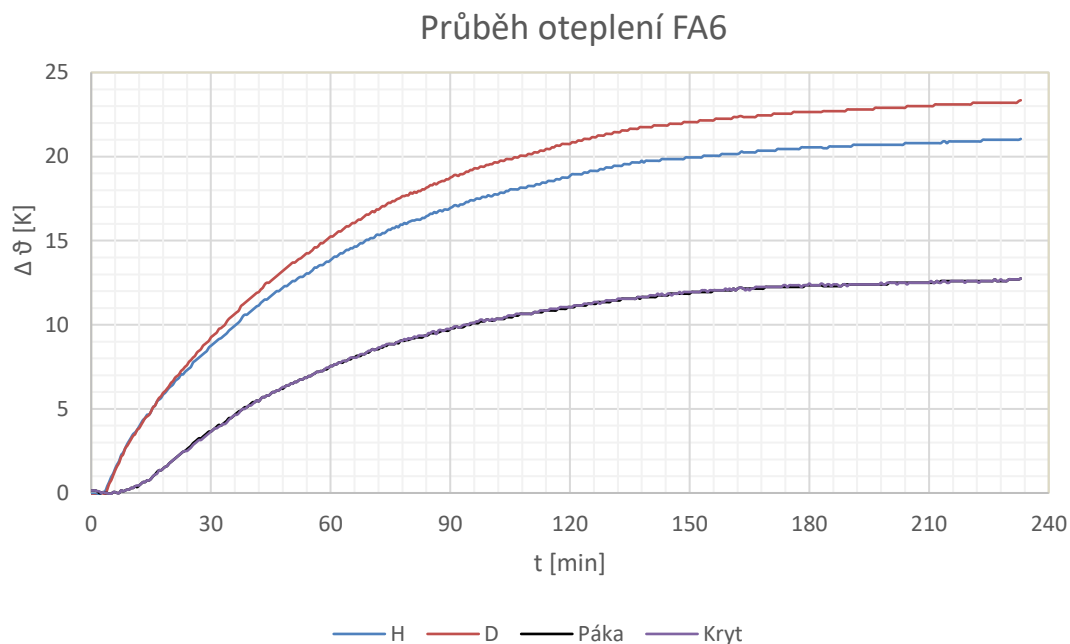
Graf 6: Průběh oteplení proudového chrániče FI11-12



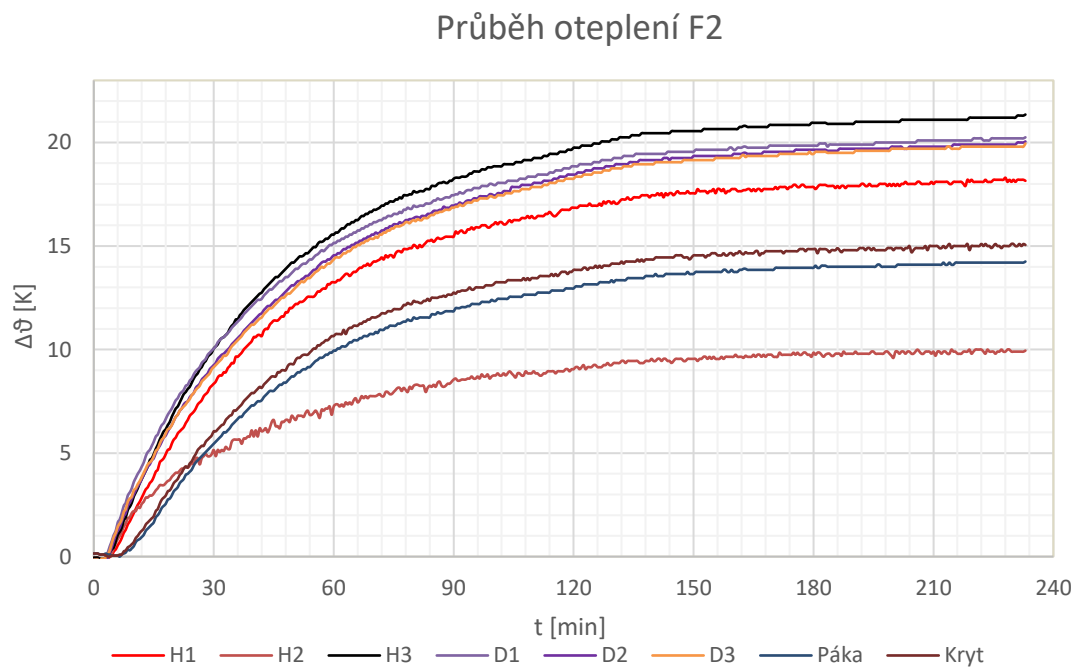
Příloha B

Grafické závislosti při měření soudobosti.

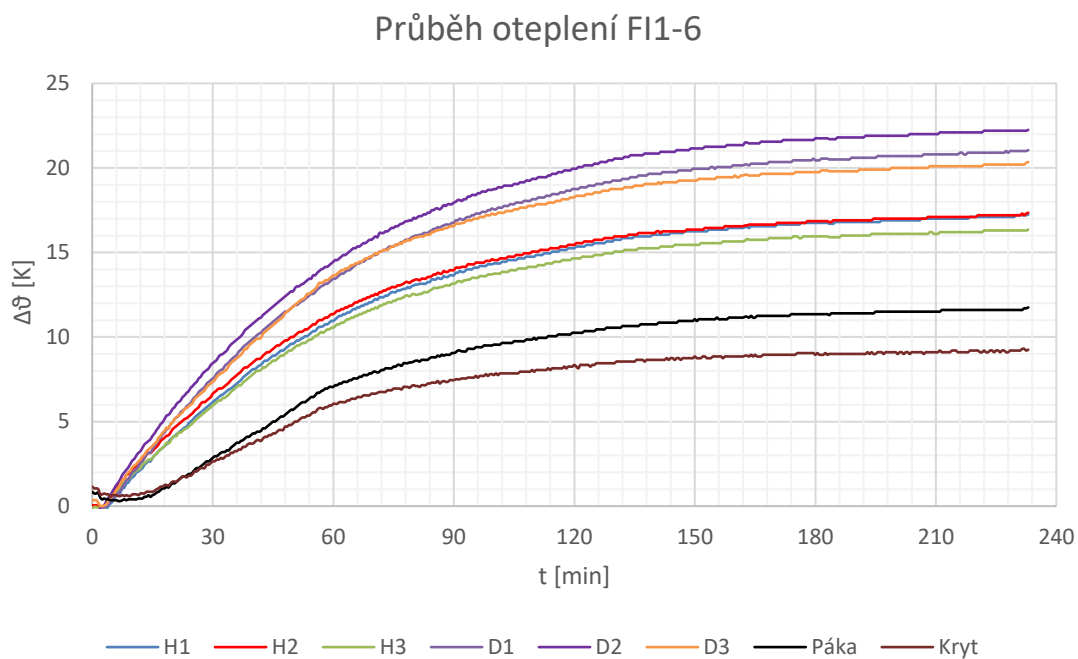
Graf 7: Průběh oteplení jednofázového jističe FA6



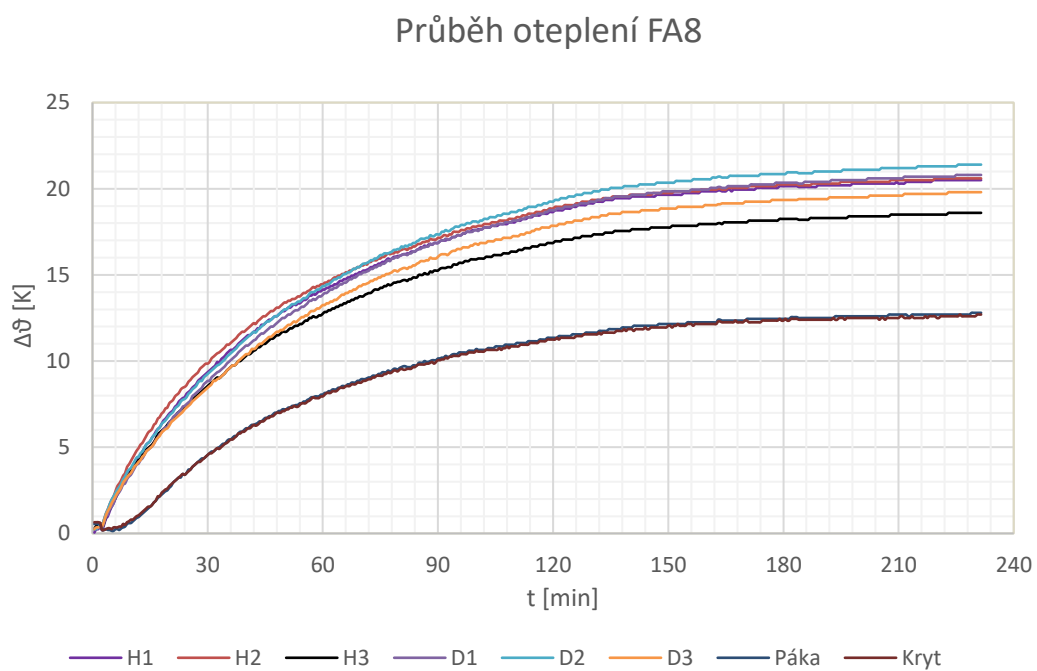
Graf 8: Průběh oteplení třífázového jističe F2



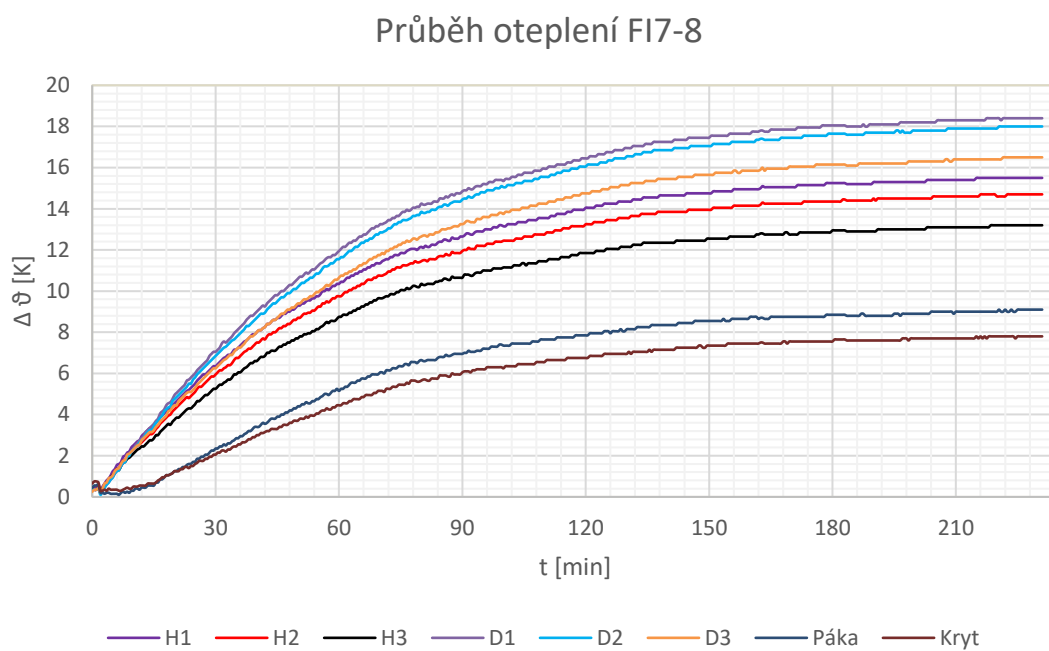
Graf 9: Průběh oteplení proudového chrániče FI1-6



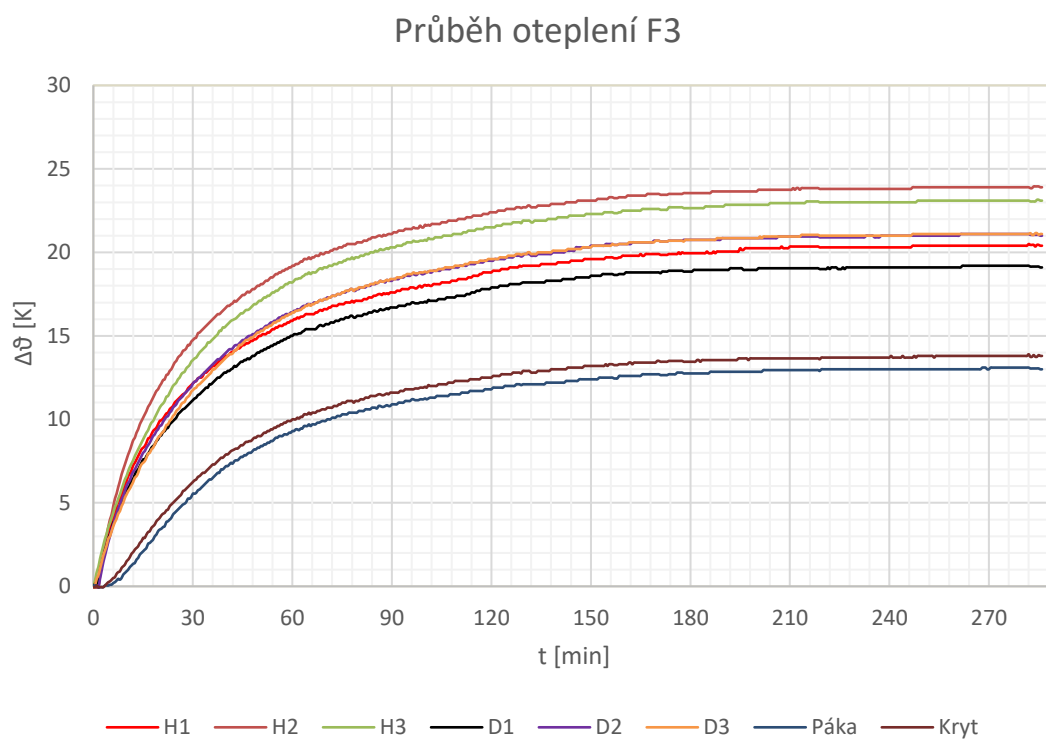
Graf 10: Průběh oteplení třífázového jističe FA8



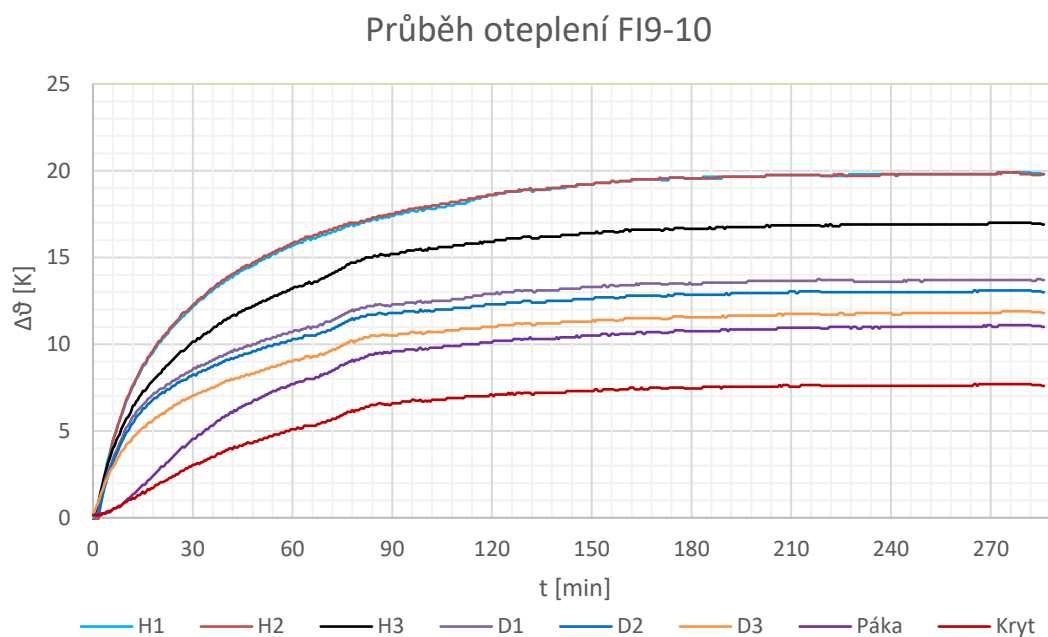
Graf 11: Průběh oteplení proudového chrániče FI7-8



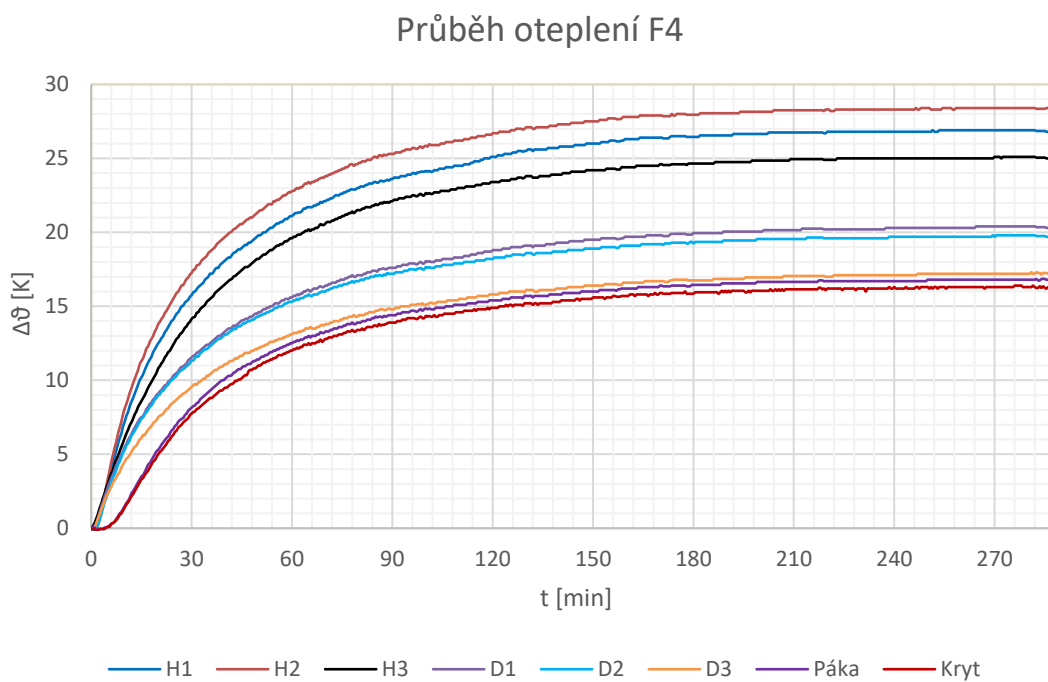
Graf 12: Průběh oteplení třífázového jističe F3



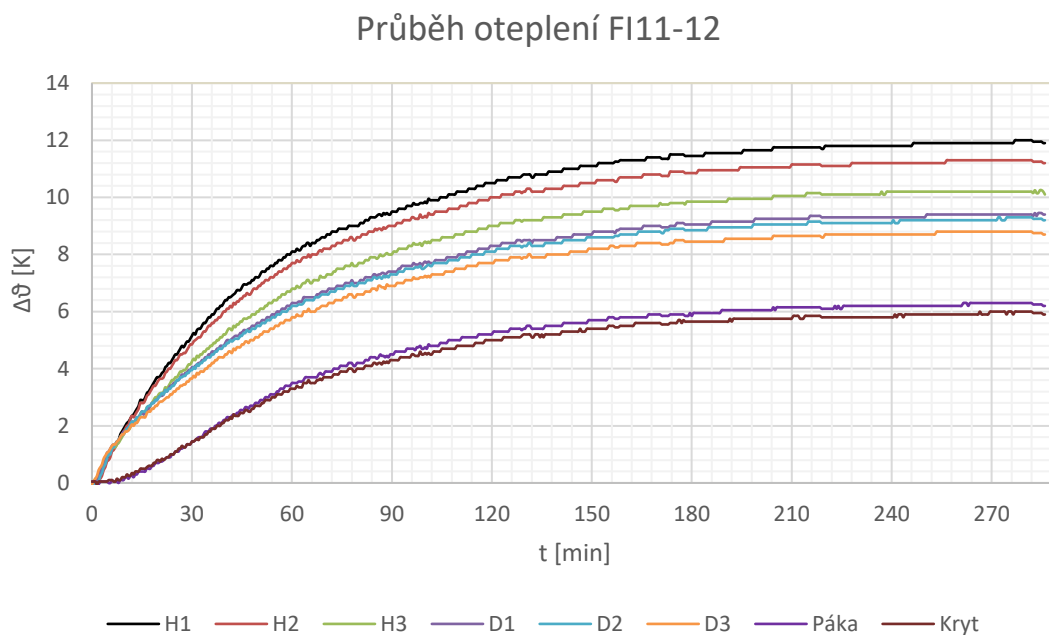
Graf 13: Průběh oteplení proudového chrániče FI9-10



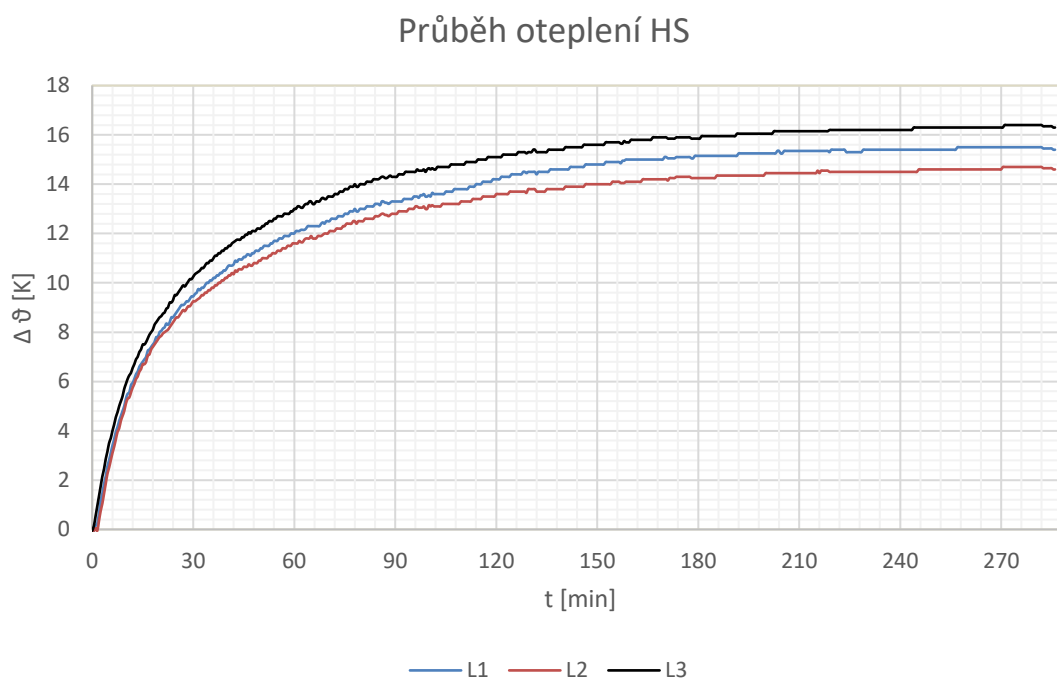
Graf 14: Průběh oteplení třífázového jističe F4



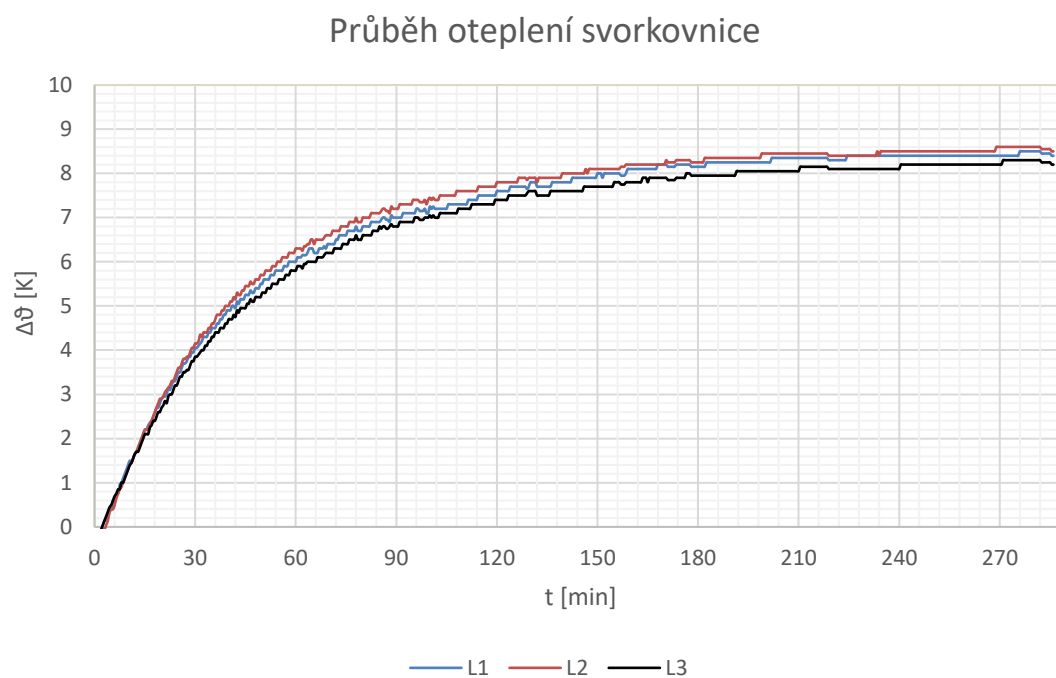
Graf 15: Průběh oteplení proudového chrániče FI11-12



Graf 16: Průběh oteplení ručního pákového vypínače



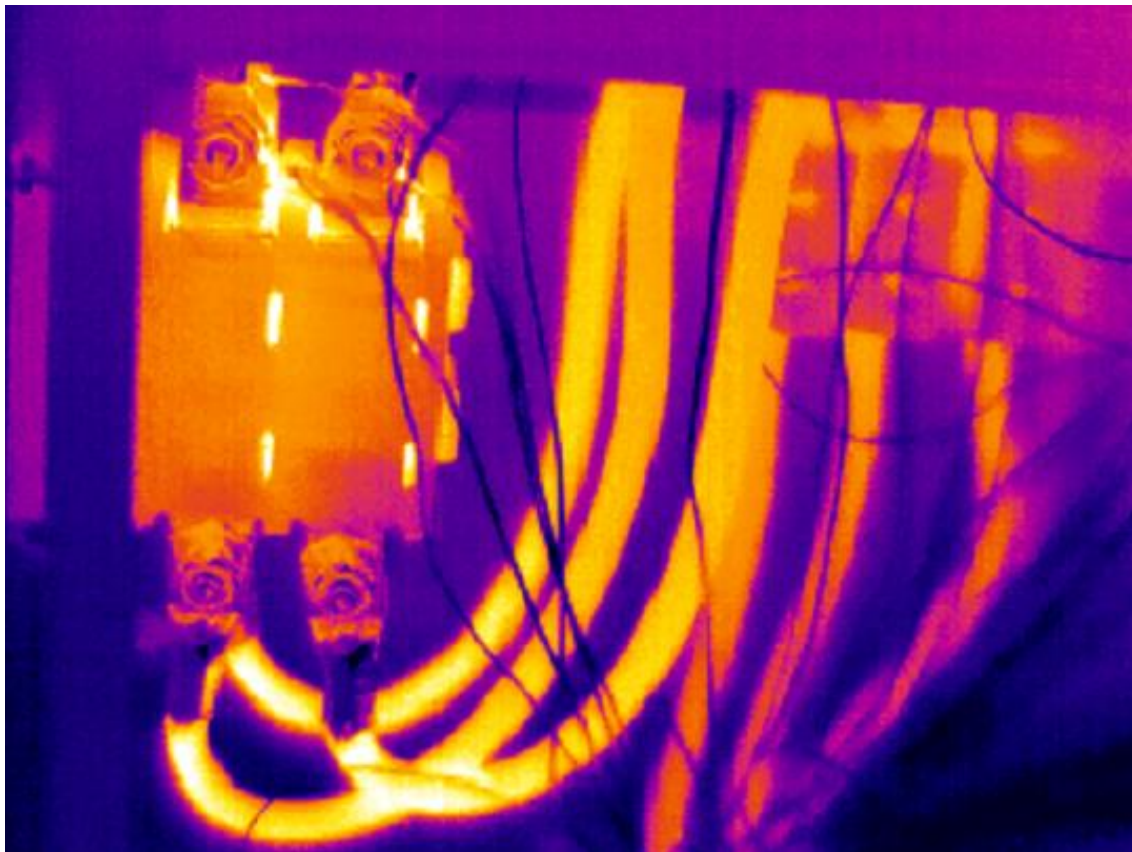
Graf 17: Průběh oteplení svorkovnice



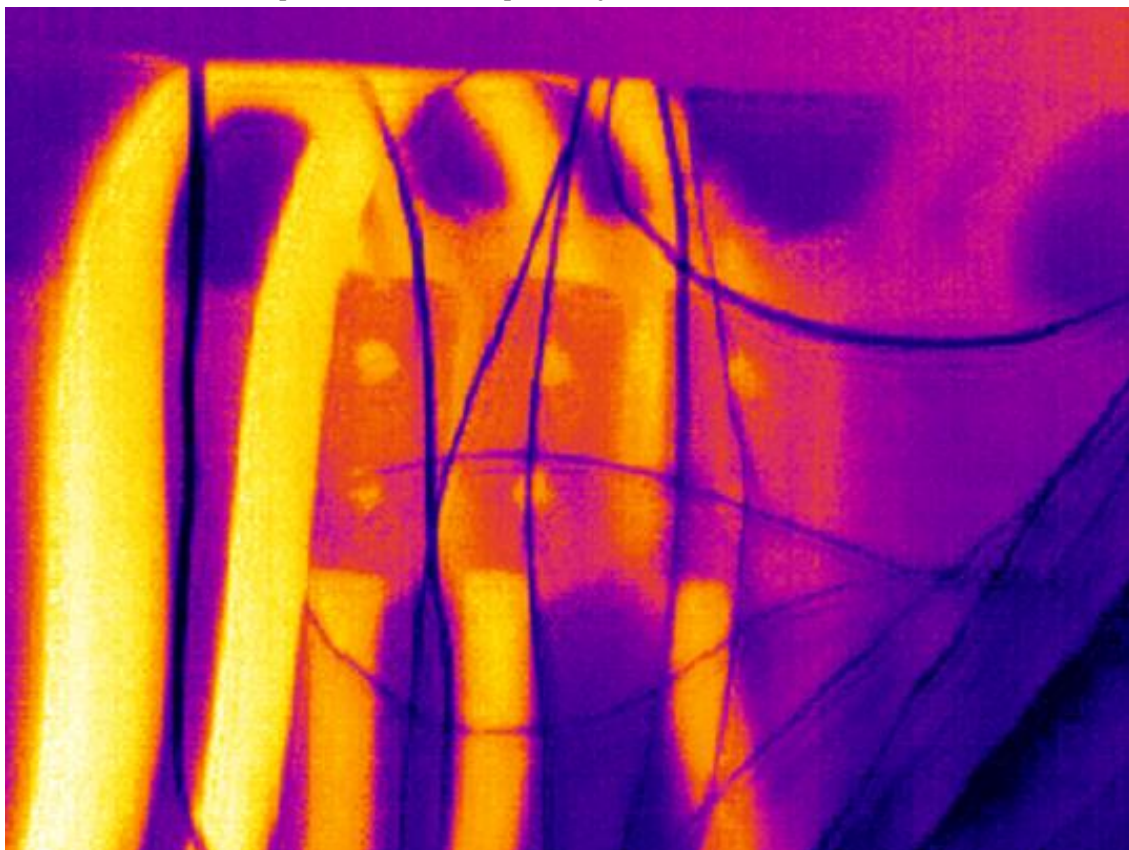
Příloha C

Snímky oteplení jednotlivých zařízení pořízené termokamerou.

Obrázek 1: Snímek oteplení ručního pákového vypínače pořízený termokamerou



Obrázek 2: Snímek oteplení svorkovnice pořízený termokamerou



Obrázek 3: Snímek oteplení třífázové (63 A) zásuvky pořízený termokamerou

